



**GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

# **Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca del Río Lluta**

**INFORME FINAL**

**REALIZADO POR:  
ICASS SpA  
S.I.T. N°473**

**Santiago, abril 2021.**

## **MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

Ministro de Obras Públicas  
Ingeniero Civil Sr. Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas  
Ingeniero Comercial Sr. Óscar Cristi Marfil

Jefe División de Estudios y Planificación  
Ingeniero Civil Sr. Mauricio Lorca

Inspector Fiscal  
Geólogo Sr. Marcelo Aliaga Alvarado

Inspectora Fiscal Subrogante  
Ingeniera Agrícola Srta. Pamela García Serrano

Asesor Modelación Integrada  
Ingeniero Civil Sr. Pedro Sanzana Cuevas

Profesionales DGA  
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables María Victoria Aedo  
Aedo

Ingeniero Civil Agrícola Abraham Arévalo Neira  
Ingeniero Civil en Obras Civiles Pablo Costa Tapia  
Cartógrafo Guillermo Tapia Molina

INGENIERÍA Y CONSULTORÍA EN AGUAS SPA

Bernardo Capino Díaz  
Jefe de Proyecto  
Ingeniero Civil

Profesionales:

Ingeniero Civil Adrián Lillo  
Hidrogeólogo Kirk Heatwole  
Ingeniero Civil Mauricio Zambrano  
Hidrogeólogo Wolf von Igel  
Antropóloga Social Kapris Tabilo  
Especialista SIG Luis Acevedo  
Economista Rodrigo Morera  
Geóloga Begoña Urtubia  
Ingeniera Civil Paulina Rodriguez

Equipo Complementario:

Hidrogeóloga Carolina Saavedra  
Hidrogeóloga Tamara Vejar  
Ingeniero Ambiental Felipe Gonzalez  
Geólogo José Bustamante  
Ingeniero Civil Rodrigo Marinao  
Economista Sebastián Barrios

Para citar bibliográficamente este estudio, se recomienda hacerlo de la siguiente forma:

Dirección General de Aguas (DGA), 2021. Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las Cuencas de Lluta y Pampa del Tamarugal, SIT N°473, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Realizado por: ICASS SpA.

## Tabla de Contenido General

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....</b>	<b>1</b>
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	2
<b>2.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA .....</b>	<b>3</b>
2.1	DIMENSIÓN FÍSICA.....	5
2.1.1	Geomorfología .....	5
2.1.2	Geología .....	7
2.1.3	Suelos .....	12
2.1.4	Hidrología .....	13
2.1.5	Hidrogeología .....	29
2.1.6	División político-administrativa .....	49
2.1.7	Actividad Económica.....	50
2.2	CLIMA.....	57
2.2.1	Caracterización climática.....	57
2.2.2	Eventos extremos y variabilidad climática .....	60
2.2.3	Escenarios de cambio climático .....	65
2.3	DIMENSIÓN AMBIENTAL .....	72
2.3.1	Unidades ecosistémicas .....	73
2.3.2	Sitios o áreas protegidas.....	77
2.3.3	Glaciares.....	78
2.3.4	Aguas Fósiles.....	80
2.4	INFRAESTRUCTURA HÍDRICA .....	80
2.4.1	Obras hidráulicas .....	80
2.4.2	Redes de medición .....	86
2.5	NUEVAS FUENTES EXISTENTES .....	95
2.5.1	Nuevos acuíferos.....	95
2.5.2	Recarga de Acuíferos .....	95
2.5.3	Desalinización.....	96
2.5.4	Uso de aguas servidas tratadas.....	96
2.5.5	Atrapanieblas .....	97
2.6	GOBERNANZA DEL AGUA A NIVEL CUENCA.....	97
2.6.1	Mapa de agentes.....	97
2.6.2	Síntesis de Reuniones PAC Cuenca del río Lluta .....	112
2.6.3	Brechas de coordinación.....	117
2.6.4	Brechas de información.....	124
2.6.5	Brechas transversales.....	125
2.6.6	Tabla resumen de brechas.....	126
<b>3.</b>	<b>DEMANDA FÍSICA Y LEGAL.....</b>	<b>127</b>
3.1	USO HUMANO .....	129
3.1.1	Demografía .....	129
3.1.2	Agua potable urbana, histórica y proyectada .....	140
3.1.3	Agua potable rural, histórica y proyectada.....	144
3.1.4	Derechos de agua para uso humano .....	146
3.2	NECESIDADES MÍNIMAS AMBIENTALES .....	147
3.2.1	Consideración de sistemas protegidos.....	148

3.2.2	Derechos de agua para el medio ambiente: caudales ecológicos.....	149
3.3	DEMANDA AGRÍCOLA.....	151
3.3.1	Caracterización general de la demanda agrícola .....	151
3.3.2	Zonas de riego modeladas.....	154
3.3.3	Cultivos modelados .....	158
3.3.4	Valores de kc y evapotranspiración neta de cultivos.....	160
3.3.5	Ineficiencia de métodos de riego y canales .....	160
3.3.6	Derechos de agua para la agricultura.....	160
3.4	DEMANDA MINERA .....	160
3.4.1	Demanda hídrica para uso minero .....	160
3.4.2	Derechos de agua para minería.....	162
3.5	DEMANDA INDUSTRIAL .....	162
3.5.1	Demanda hídrica para uso industrial.....	162
3.5.2	Derechos de agua para la industria.....	163
3.6	OTRAS DEMANDAS.....	163
3.6.1	Demanda para uso pecuario .....	163
3.6.2	Demanda para uso forestal.....	165
3.6.3	Demanda hídrica para uso turístico.....	167
3.6.4	Otras demandas hídricas.....	168
3.7	SÍNTESIS DE DEMANDA.....	168
3.8	MONITOREO DE EXTRACCIONES EFECTIVAS (MEE).....	170
3.9	MERCADO DE AGUAS.....	172
3.9.1	Evolución histórica .....	172
3.9.2	Valor del agua en la Región .....	174
3.9.3	Caracterización de algunas OUA de Lluta en el mercado .....	177
<b>4.</b>	<b>OFERTA HÍDRICA.....</b>	<b>178</b>
4.1	AGUA SUPERFICIAL.....	178
4.1.1	Fuentes.....	178
4.1.2	Oferta en la fuente .....	182
4.1.3	Oferta en la fuente proyectada.....	183
4.1.4	Calidad actual .....	184
4.1.5	Fuentes de contaminación .....	196
4.1.6	Oferta de Agua Superficial.....	199
4.1.7	Derechos concedidos .....	201
4.2	AGUA SUBTERRÁNEA (SHACs) .....	204
4.2.1	Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC).....	204
4.2.2	Stock, recarga y niveles .....	208
4.2.3	Estadística de parámetros de calidad .....	212
4.2.4	Vulnerabilidad de acuíferos.....	216
4.2.5	Derechos concedidos .....	216
4.3	GLACIARES.....	218
4.4	RESULTADO OFERTA DE AGUA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	219
<b>5.</b>	<b>BALANCE DE AGUA.....</b>	<b>220</b>
5.1	MODELO DE SIMULACIÓN.....	220
5.1.1	Situación actual .....	221
5.1.2	Situación proyectada .....	228
5.2	BRECHAS SOBRE EL RECURSO HÍDRICO .....	231
5.3	SUSTENTABILIDAD .....	233

5.3.1	Descensos Sustentables .....	234
5.3.2	Afectación al río .....	234
5.3.3	Satisfacción de la demanda .....	235
5.3.4	Pozos secos .....	235
5.3.5	Resumen.....	235
5.4	INDICADORES HÍDRICOS DE LA CUENCA.....	236
5.5	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	237
5.5.1	Escenario de Gestión N°1 .....	237
5.5.2	Escenario de Gestión N°2 .....	237
5.5.3	Escenario de Gestión N°3 .....	238
5.5.4	Discusión de resultados.....	239
5.6	BRECHAS DE INFORMACIÓN.....	241
5.6.1	Hidrogeología .....	241
5.6.2	Actividad Económica .....	241
5.6.3	Glaciares .....	242
5.6.4	Mercado de Aguas .....	242
5.6.5	Brechas para la modelación numérica .....	242
<b>6.</b>	<b>ACCIONES.....</b>	<b>244</b>
6.1	EJES Y OBJETIVOS PARA EL PEGH.....	244
6.2	CARTERA DE INICIATIVAS DE INVERSIÓN VIGENTES .....	245
6.2.1	Obras de Infraestructura .....	246
6.2.2	Medidas de Gestión .....	254
6.2.3	Otras medidas .....	260
6.2.4	Iniciativas interregionales.....	263
6.3	ACCIONES PRESENTADAS EN PAC .....	268
6.3.1	Relación acciones y objetivos del plan.....	269
6.4	RELACIÓN ENTRE BRECHAS, ACCIONES, EJES Y OBJETIVOS DEL PLAN .....	271
6.5	ACCIONES ADICIONALES .....	272
6.5.1	Recomendaciones a partir de los resultados de la modelación .....	272
6.5.2	Recomendaciones propuestas por DIFROL .....	273
<b>7.</b>	<b>CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS .....</b>	<b>275</b>
7.1	PRIORIZACIÓN DE ACCIONES .....	275
7.2	SÍNTESIS DE LAS INICIATIVAS PRIORIZADAS .....	280
7.3	FICHAS RESUMEN DE LAS INICIATIVAS PROPUESTAS.....	282
7.4	CRONOGRAMA DE LAS INICIATIVAS PROPUESTAS .....	283
7.5	VALORIZACIÓN DEL PLAN .....	285
<b>8.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN .....</b>	<b>287</b>
8.1	ESTRUCTURA DEL PLAN DE GESTIÓN .....	287
8.2	PLAZOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	287
8.3	ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN .....	287
8.3.1	Aspectos institucionales .....	287
8.3.2	Aspectos de cultura del agua .....	288
8.3.3	Aspectos de financiamiento .....	289
8.3.4	Aspectos normativos .....	289
8.3.5	Rol de las mujeres.....	290
8.3.6	Aspectos relacionados con el ciclo político .....	290
8.3.7	Proceso de implementación .....	290
8.4	GOBERNANZA DEL PLAN ESTRATÉGICO.....	291

8.4.1	Cultura del agua .....	294
8.5	ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN .....	295
8.5.1	Comunicación y difusión durante el desarrollo del estudio .....	295
8.5.2	Comunicación y difusión del PEGH en fases posteriores .....	296
8.6	EXTERNALIDADES .....	297
<b>9.</b>	<b>MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN .....</b>	<b>298</b>
9.1	PLAN DE MONITOREO .....	298
9.2	MECANISMOS DE EVALUACIÓN, ACTUALIZACIÓN Y TOMA DE DECISIONES .....	301
<b>10.</b>	<b>ASPECTOS NORMATIVOS .....</b>	<b>303</b>

**ANEXO A. ABREVIATURAS**

**ANEXO B. REFERENCIAS**

**ANEXO C. GLOSARIO**

**ANEXO D. FIGURAS**

**ANEXO E. ANTECEDENTES**

**ANEXO F. ASPECTOS METODOLÓGICOS**

**ANEXO G. SIG**

**ANEXO H. MODELACIÓN**

**ANEXO I. ACTIVIDADES PAC**

**ANEXO J. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LA CUENCA Y SU DIAGNÓSTICO**

## Índice de Figuras

FIGURA 2.1 LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA .....	4
FIGURA 2.2 DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	6
FIGURA 2.3 MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	10
FIGURA 2.4 PRINCIPALES ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	11
FIGURA 2.5 CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	14
FIGURA 2.6 DIAGRAMA UNIFILAR DEL RÍO LLUTA.....	15
FIGURA 2.7 PRECIPITACIÓN ANUAL CUENCA RÍO LLUTA, ESTIMADO A PARTIR DE PRODUCTO CR2MET V2 CORREGIDO.....	17
FIGURA 2.8 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (MM) EN CUENCA DEL RÍO LLUTA, OBTENIDA MEDIANTE ANÁLISIS DE PRODUCTO CR2MET V2.....	18
FIGURA 2.9 VARIACIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, PERIODO 1985 A 2019.....	20
FIGURA 2.10 MAPA DE ISOLÍNEAS DE LA TASA DE EVAPORACIÓN MEDIA ANUAL EN LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA Y UBICACIÓN DE LAS 12 ESTACIONES CON TANQUE EVAPORÍMETRO.....	22
FIGURA 2.11 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ABSOLUTA REPORTADA EN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	24
FIGURA 2.12 EVAPORACIÓN MEDIA MENSUAL POTENCIAL EN ESTACIÓN PUTRE – TANQUE TIPO A (3.545 M S.N.M.).....	24
FIGURA 2.13 CAUDAL MEDIO MENSUAL EN EL RÍO LLUTA, PERIODO 1985-2019.....	28
FIGURA 2.14 UBICACIÓN ESTUDIOS GEOFÍSICOS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	30
FIGURA 2.15 MAPA DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	35
FIGURA 2.16 UBICACIÓN DE 11 SONDAJES DE ESSAT S.A. Y 4 SONDAJES JICA.....	36
FIGURA 2.17 DISTRIBUCIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (M/DÍA) EN EL VALLE DEL RÍO LLUTA.....	39
FIGURA 2.18 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO EN METROS BAJO EL NIVEL DEL TERRENO (M B.N.T.) EN POZOS JICA-DGA, PERIODO 2000-2019.....	41
FIGURA 2.19 EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL NIVEL FREÁTICO EN POZOS JICA-DGA, EN METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR (M S.N.M.), PERIODO 2000-2019.....	41
FIGURA 2.20 MAPA PIEZOMÉTRICO INFERIDO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO LLUTA ALTO.....	43
FIGURA 2.21 MAPA PIEZOMÉTRICO UNIDAD HIDROGEOLÓGICA I, SUBCUENCA DEL RÍO LLUTA BAJO. ...	44
FIGURA 2.22 SECCIONES GEOLÓGICAS Y ACUÍFERO DEL VALLE BAJO DEL LLUTA.....	45
FIGURA 2.23 PERFILES GEOLÓGICOS ELABORADOS POR DGA (1995).....	45
FIGURA 2.24 PERFIL GEOLÓGICO X-X' EN EL VALLE DEL RÍO LLUTA ELABORADO POR DGA (1995), ...	46
FIGURA 2.25 PROVINCIAS Y COMUNAS DE LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA.....	50
FIGURA 2.26 TURISTAS NACIONALES Y EXTRANJEROS CON ALOJAMIENTO EN LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA.....	52
FIGURA 2.27 PIB DE LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA POR CLASE DE ACTIVIDAD ECONÓMICA ANUAL, VOLUMEN DE PRECIOS DEL AÑO ANTERIOR ENCADENADO 2015 EN MILES DE MILLONES.....	54
FIGURA 2.28 TASA DE DESOCUPACIÓN ANUAL (GRÁFICO SUPERIOR) Y TASA DE OCUPACIÓN ANUAL REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA (GRÁFICO INFERIOR).....	55
FIGURA 2.29 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN EN LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA.....	58
FIGURA 2.30 DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL (CR2MET V2) EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA (1985-2019).....	60

FIGURA 2.31 SERIE DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS (1985-2019) .....	62
FIGURA 2.32 COMPARACIÓN DE VALORES TEÓRICOS A PARTIR DE LA DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL (LÍNEA VERDE), VALORES EMPÍRICOS (PUNTOS) E INTERVALOS DE CONFIANZA (LÍNEAS PUNTADAS ROJAS), PARA LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HRS.....	63
FIGURA 2.33 SERIE DE CAUDALES INSTANTÁNEOS MÁXIMOS ANUALES (1985-2019).....	64
FIGURA 2.34 COMPARACIÓN DE VALORES TEÓRICOS A PARTIR DE LA DISTRIBUCIÓN LOG-NORMAL (LÍNEA VERDE), VALORES EMPÍRICOS (PUNTOS) E INTERVALOS DE CONFIANZA (LÍNEAS PUNTADAS ROJAS), PARA EL CAUDAL INSTANTÁNEO MÁXIMO ANUAL.....	65
FIGURA 2.35 PRECIPITACIÓN ANUAL HISTÓRICA Y PROYECCIONES DERIVADAS DEL ESTUDIO ABHN, PARA LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. EN LÍNEAS PUNTEADAS SE MARCA LA LÍNEA DE TENDENCIA DE CADA SERIE TEMPORAL.....	67
FIGURA 2.36 BOXPLOTS PARA LAS PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES PROYECTADAS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, DE ACUERDO A LOS GCMS CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO ABHN. EN LÍNEA PUNTEADA SE REPRESENTA EL VALOR DEL PERIODO HISTÓRICO. ....	67
FIGURA 2.37 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL HISTÓRICA EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, Y LAS CORRESPONDIENTES VARIACIONES PORCENTUALES PROYECTADAS DE ACUERDO A LOS GCMS CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO ABHN. ....	68
FIGURA 2.38 TEMPERATURA MEDIA ANUAL HISTÓRICA Y PROYECCIONES DERIVADAS DEL ESTUDIO ABHN, PARA LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. EN LÍNEAS PUNTEADAS SE MARCA LA LÍNEA DE TENDENCIA DE CADA SERIE TEMPORAL. ....	69
FIGURA 2.39 BOXPLOTS PARA LAS TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES PROYECTADAS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, DE ACUERDO A LOS GCMS CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO ABHN. EN LÍNEA PUNTEADA SE REPRESENTA EL VALOR DEL PERIODO HISTÓRICO. ....	69
FIGURA 2.40 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL HISTÓRICA EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, Y LAS CORRESPONDIENTES VARIACIONES ABSOLUTAS PROYECTADAS DE ACUERDO A LOS GCMS CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO ABHN. ....	70
FIGURA 2.41 ESCORRENTÍA ANUAL HISTÓRICA Y PROYECCIONES DERIVADAS DEL ESTUDIO ABHN, PARA LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. EN LÍNEAS PUNTEADAS SE MARCA LA LÍNEA DE TENDENCIA DE CADA SERIE TEMPORAL.....	71
FIGURA 2.42 BOXPLOTS PARA LOS VALORES DE ESCORRENTÍA ANUAL PROYECTADOS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, DE ACUERDO A LOS GCMS CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO ABHN. EN LÍNEA PUNTEADA SE REPRESENTA EL VALOR DEL PERIODO HISTÓRICO. ....	71
FIGURA 2.43 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA ESCORRENTÍA MEDIA ANUAL HISTÓRICA EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, Y LAS CORRESPONDIENTES VARIACIONES ABSOLUTAS PROYECTADAS DE ACUERDO A LOS GCMS CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO ABHN. ....	72
FIGURA 2.44 FORMACIONES VEGETACIONALES DE LUEBERT & PLISCOFF (2017). ....	74
FIGURA 2.45 HUMEDALES DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	76
FIGURA 2.46 SITIOS O ÁREAS PROTEGIDAS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	78
FIGURA 2.47 UBICACIÓN Y TIPOS DE GLACIARES EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	80
FIGURA 2.48 UBICACIÓN DE LAS OBRAS DEL EMBALSE CHIRONTA.....	81
FIGURA 2.49 UBICACIÓN Y ESTADO DE CANALES EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	84
FIGURA 2.50 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA DGA EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. NÚMERO INDICA EL NOMBRE DE LA ESTACIÓN EN LA TABLA 2.39.....	88

FIGURA 2.51 ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS DGA EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. NÚMERO INDICA EL NOMBRE DE LA ESTACIÓN EN LA TABLA 2.40. ....	91
FIGURA 2.52 UBICACIÓN DE LOS POZOS DE MONITOREO DE LA DGA EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ...	92
FIGURA 2.53 ESTACIONES DE CALIDAD DE AGUA DGA EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	94
FIGURA 2.54 REPRESENTACIÓN GENERAL DE ACTORES/AGENTES VINCULADOS AL RECURSO HÍDRICO, PAC LLUTA, 2021.....	99
FIGURA 2.55 GRUPOS DE INTERÉS O STAKEHOLDERS PEGH DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	111
FIGURA 2.56 ÁREA DE JURISDICCIÓN DE LA JUNTA DE VIGILANCIA DEL RÍO LLUTA Y SUS TRIBUTARIOS, Y UBICACIÓN DE LAS OUA DE LA CUENCA. ....	118
FIGURA 2.57 MAPA DE RELACIONES DE ACTORES RELEVANTES A NIVEL REGIONAL (ARICA Y PARINACOTA. ....	121
FIGURA 2.58 SOCIOGRAMA DE REDES DE ACTORES.....	123
FIGURA 3.1 PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN 2013 A 2020. REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA. ....	130
FIGURA 3.2 EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN Y TASA DE CRECIMIENTO INTERCENSAL. CENSO 1992- 2017. REGIÓN ARICA Y PARINACOTA. ....	130
FIGURA 3.3 EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR TRAMO ETÁREO. CENSOS 1992, 2002 Y 2017. ....	131
FIGURA 3.4 EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR ÁREA URBANA/RURAL. CENSOS 1992, 2002 Y 2017. ....	131
FIGURA 3.5 PROMEDIO DE AÑOS DE ESCOLARIDAD DE POBLACIÓN DE 5 AÑOS O MÁS, SEGÚN SEXO. REGIÓN ARICA Y PARINACOTA. ....	133
FIGURA 3.6 PERSONAS EN SITUACIÓN DE POBREZA POR INGRESOS POR COMUNAS 2013.....	133
FIGURA 3.7 POBREZA MULTIDIMENSIONAL ARICA Y PARINACOTA Y NIVEL PAÍS. ....	134
FIGURA 3.8 PORCENTAJE DE VIVIENDAS PARTICULARES OCUPADAS DE LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA, POR ÁREAS, SEGÚN EL ORIGEN DEL AGUA. CENSO 2017. ....	134
FIGURA 3.9 VARIACIÓN INTERCENSAL DE LA POBLACIÓN POR TRAMO DE EDAD, COMUNA DE ARICA. ..	136
FIGURA 3.10 VARIACIÓN INTERCENSAL DE LA POBLACIÓN POR TRAMO DE EDAD, EN LA COMUNA DE PUTRE. ....	138
FIGURA 3.11 VARIACIÓN INTERCENSAL DE LA POBLACIÓN POR TRAMO DE EDAD, EN LA COMUNA DE GENERAL LAGOS. ....	139
FIGURA 3.12 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA PARA AGUA POTABLE RURAL ANUAL (MM <sup>3</sup> /AÑO) – PERÍODO 2016-2040 – SUBCUENCAS DEL RÍO LLUTA. ....	146
FIGURA 3.13 CAUDALES DE PROTECCIÓN AMBIENTAL POR SITIO PRIORITARIO PARA LA BIODIVERSIDAD. ....	149
FIGURA 3.14 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA USO AGRÍCOLA FUTURA TOTAL (AÑO 2040) – CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	153
FIGURA 3.15 SUBCUENCAS Y ZONAS DE RIEGO MODELADAS. SE PONE EN CONTEXTO LAS COBERTURAS DE SUELO, DISTINGUIENDO ZONAS CON ALTA VEGETACIÓN Y ZONAS CON BAJA/NULA VEGETACIÓN. ....	156
FIGURA 3.16 UBICACIÓN ZONAS DE RIEGO MODELADAS. LAS ZONAS DE RIEGO 17 Y 18 CORRESPONDEN A LAS ZONAS DE PUTRE Y SOCOROMA, RESPECTIVAMENTE, Y SE ENCUENTRAN POR TANTO FUERA DEL ÁREA PRESENTADA. ....	157
FIGURA 3.17 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA MINERA ANUAL (CONSUNTIVA, M <sup>3</sup> /AÑO) – PERÍODO 2016-2040 – SUBCUENCA RÍO LLUTA BAJO – VALOR INFERIOR, CENTRAL Y SUPERIOR, N.C. 70%.....	162
FIGURA 3.18 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA PARA USO PECUARIO ANUAL (MM <sup>3</sup> /AÑO) – PERÍODO 2016-2040 – SUBCUENCAS DEL RÍO LLUTA. ....	165

FIGURA 3.19 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA PARA USO FORESTAL ANUAL (MM <sup>3</sup> /AÑO) – PERÍODO 2016-2040 – SUBCUENCAS DEL RÍO LLUTA. ....	166
FIGURA 3.20 CAUDAL TURÍSTICO CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	167
FIGURA 3.21 ZOIT DECLARADO COMO ADMISIBLE EN LA XV REGIÓN. ....	168
FIGURA 3.22 DISTRIBUCIÓN DE LAS DEMANDAS CONSUNTIVAS (AÑO 2015) – CUENCA DEL RÍO LLUTA .....	169
FIGURA 3.23 EVOLUCIÓN DE LOS COSTOS DIRECTOS TOTALES DEL MERCADO DE AGUA POR COMUNA, EN PESOS CHILENOS. ....	174
FIGURA 3.24 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL PRECIO DEL AGUA TRANSADA EN UNIDADES DE CAUDAL DE MINUTOS. ....	175
FIGURA 3.25 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL PRECIO DEL AGUA TRANSADA EN UNIDADES DE CAUDAL DE L/S. .....	176
FIGURA 3.26 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL PRECIO DEL AGUA TRANSADA EN ACCIONES. ....	176
FIGURA 4.1 CUENCA, SUBCUENCAS Y SUBSUBCUENCAS DEL RÍO LLUTA. ....	179
FIGURA 4.2 SERIE DE CAUDALES MENSUALES CONSIDERADAS EN LA CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO, PERIODO 1985-2019. ....	182
FIGURA 4.3 CURVAS DE DURACIÓN DE CAUDALES EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA SUBCUENCA RÍO LLUTA BAJO PARA EL ESCENARIO HISTÓRICO (1985 – 2019). ....	183
FIGURA 4.4 CURVAS DE DURACIÓN DE CAUDALES EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA SUBCUENCA RÍO LLUTA BAJO PARA EL PERIODO FUTURO (2020 - 2050). ....	184
FIGURA 4.5 DIAGRAMA STIFF DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS DE LA CUENCA DEL LLUTA POR ICASS, EN CAMPAÑA NOVIEMBRE 2015. LOS COLORES DE LOS DIAGRAMAS HACEN REFERENCIA A DISTINTAS ESCALAS: EN ROJO, UNA ESCALA DE 4,5 MG/L; EN AZUL UNA ESCALA DE 25 MG/L, MIENTRAS QUE, EN VERDE, EL DIAGRAMA ESTÁ A UNA ESCALA DE 90 MG/L. ....	188
FIGURA 4.6 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE PH EN AGUAS SUPERFICIALES, ESTACIONES DGA, CUENCA DEL RÍO LLUTA, PERIODO 1990-2019. ....	193
FIGURA 4.7 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN ESTACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, PERIODO 1990-2019. ....	193
FIGURA 4.8 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE SULFATO (MG/L) EN AGUAS SUPERFICIALES, ESTACIONES DGA, CUENCA DEL RÍO LLUTA, PERIODO 1990-2019. ....	194
FIGURA 4.9 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE BORO (MG/L) EN AGUAS SUPERFICIALES, ESTACIONES DGA, CUENCA DEL RÍO LLUTA, PERIODO 1990-2019. ....	195
FIGURA 4.10 FAENAS E INSTALACIONES MINERAS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	199
FIGURA 4.11 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS DAA SUPERFICIALES EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ..	203
FIGURA 4.12 SECTORES HIDROGEOLÓGICOS DE APROVECHAMIENTO COMÚN EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	205
FIGURA 4.13 ÁREA DE RESTRICCIÓN Y ACUÍFEROS PROTEGIDOS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	207
FIGURA 4.14 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS RECARGAS EN EL ACUÍFERO DE LLUTA BAJO, DESGLOSE POR INFILTRACIÓN DEL RÍO Y RETORNOS DE RIEGO .....	209
FIGURA 4.15 NIVELES OBSERVADOS EN POZOS J-1, J-A, J-2 Y J-B PARA EL PERIODO HISTÓRICO ...	211
FIGURA 4.16 GRÁFICO DE EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS MAYORITARIOS (MG/L) PARA ESTACIONES DE CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA. ....	215
FIGURA 4.17 GRÁFICO DE EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS MINORITARIOS (MG/L) PARA ESTACIONES DE CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA. ....	215

FIGURA 4.18 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS DAA SUBTERRÁNEOS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. .	218
FIGURA 5.1 DOMINIOS DE MODELACIÓN WEAP-MODFLOW.....	221
FIGURA 5.2 ESQUEMATIZACIÓN DE LOS PERIODOS DE TIEMPO CONSIDERADOS PARA LA MODELACIÓN SUPERFICIAL. ....	222
FIGURA 5.3 SIMULACIÓN EN PERIODO COMPLETO PARA LAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS RÍO CARACARANI EN HUMAPALCA (ARRIBA), RÍO COLPITAS EN ALCÉRRECA (CENTRO-ARRIBA), RÍO LLUTA EN ALCÉRRECA (CENTRO-ABAJO) Y RÍO LLUTA EN PANAMERICANA (ABAJO). ....	223
FIGURA 5.4 AJUSTE OBTENIDO DE NIVELES EN RÉGIMEN ESTACIONARIO, SE DESTACAN PIEZÓMETROS DGA.....	224
FIGURA 5.5 NIVELES OBSERVADOS Y SIMULADOS MEDIANTE EL MODELO WEAP-MODFLOW POZOS J-1 Y J-A (ARRIBA) Y POZOS J-2 Y J-B (ABAJO). ....	225
FIGURA 5.6 BALANCE HÍDRICO MEDIO ANUAL SUPERFICIAL EN PERIODO HISTÓRICO. ....	226
FIGURA 5.7 COMPONENTES DEL BALANCE HÍDRICO DEL ACUÍFERO DE LLUTA BAJO. ....	227
FIGURA 5.8 BALANCE SUBTERRÁNEO ANUAL PARA EL ACUÍFERO DE LLUTA BAJO. PERIODO HISTÓRICO (1985-2019). ....	227
FIGURA 5.9 DELTAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA ENTRE EL PERIODO HISTÓRICO (1985-2019) Y FUTURO (2020-2050). ....	229
FIGURA 5.10 BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL MEDIO ANUAL EN PERIODO FUTURO: ESCENARIO BASE. LAS VARIACIONES SON RESPECTO AL PERIODO HISTÓRICO. ....	230
FIGURA 5.11 BALANCE HÍDRICO SUBTERRÁNEO MEDIO ANUAL EN PERIODO FUTURO: ESCENARIO BASE. ....	230
FIGURA 5.12 COMPARACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN PERIODO HISTÓRICO Y FUTURO, EN LA ENTRADA AL SHAC DE LLUTA BAJO. ....	231
FIGURA 5.13 EVOLUCIÓN DEL VOLUMEN DEL ACUÍFERO. ARRIBA, SERIE HISTÓRICA (1985-2019) Y ABAJO, SERIE PROYECTADA (2020-2050) ....	234
FIGURA 5.14 CURVAS DE DURACIÓN DE CAUDALES PARA ENTRADA Y SALIDA DEL SHAC DE LLUTA BAJO SEGÚN LOS DISTINTOS ESCENARIOS.....	240
FIGURA 5.15 EXTRACCIONES AGRÍCOLAS PROYECTADAS PARA EL VALLE DE LLUTA Y EL SECTOR COSTERO. ....	241
FIGURA 6.1 CLASIFICACIÓN A CONSIDERAR PARA LAS INICIATIVAS HÍDRICAS LEVANTADAS .....	246
FIGURA 6.2 NIVELES ESTÁTICOS EN LOS 4 POZOS DE LARGO REGISTRO, DE POZOS JICA. ....	253
FIGURA 6.3 MAPA MUNDIAL DE LA EVALUACIÓN DEL ODS 6.5.1 .....	256
FIGURA 7.1 ESQUEMA GENERAL PARA ELABORACIÓN DE PLAN DE ACCIÓN. ....	277
FIGURA 7.2 DISTRIBUCIÓN DE VAC (\$ MILLONES DE PESOS) SEGÚN EJECUTOR: INICIATIVAS PRIORIZADAS.....	286
FIGURA 8.1 ESQUEMA DE IMPLEMENTACIÓN DEL PEGH.....	291
FIGURA 8.2 ESQUEMA DE GOBERNANZA PARA EL PEGH .....	294
FIGURA 8.3 ESTRATEGIA COMUNICACIONAL PEGH .....	295

# Índice de Tablas

TABLA 2.1 SUBCUENCAS DEL RÍO LLUTA Y SUS PROVINCIAS Y COMUNAS .....	3
TABLA 2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS EN CADA SECCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	13
TABLA 2.3 DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN EN LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS .....	16
TABLA 2.4 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL EN ESTACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, PERIODO 1985 A 2019.....	19
TABLA 2.5 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, PERIODO 1985 A 2019. ..	19
TABLA 2.6 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL EN ESTACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, PERIODO 1985 A 2019.....	19
TABLA 2.7 COORDENADAS Y PERIODO DE INFORMACIÓN DE LAS ESTACIONES CON MEDICIÓN DE EVAPORACIÓN DE TANQUE TIPO A EN LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA. ....	21
TABLA 2.8 EVAPORACIÓN MEDIA MENSUAL DE TANQUE TIPO A EN LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA.	23
TABLA 2.9 VALORES ESTIMADOS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN ESTACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	25
TABLA 2.10 DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN EN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	26
TABLA 2.11 DATOS DISPONIBLES (%) EN ESTACIONES VIGENTES DGA CON MEDICIONES DE CAUDALES EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	26
TABLA 2.12 CAUDAL MEDIO ANUAL PARA EL AÑO HIDROLÓGICO EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, PERIODO 1985 - 2019.....	27
TABLA 2.13 CAUDAL MEDIO MENSUAL EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, PERIODO 1985-2019. ....	28
TABLA 2.14 PARÁMETROS HIDRÁULICOS OBTENIDOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LAS PRUEBAS DE BOMBEO DE LOS POZOS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO LLUTA BAJO. ....	37
TABLA 2.15 PARÁMETROS HIDRÁULICOS PARA CADA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	38
TABLA 2.16 INFORMACIÓN ESTACIONES DE NIVELES DE POZOS DGA.....	40
TABLA 2.17 INFORMACIÓN DEL ACUÍFERO PROFUNDO. ....	47
TABLA 2.18 PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL ACUÍFERO PROFUNDO. ....	47
TABLA 2.19 ALMACENAMIENTO DEL ACUÍFERO POR ZONA. ....	47
TABLA 2.20 RESUMEN DE FLUJO SUBTERRÁNEO CALCULADO PARA EL ACUÍFERO PROFUNDO DEL VALLE DEL RÍO LLUTA.....	48
TABLA 2.21 ESTIMACIÓN FLUJO SUBTERRÁNEO PARA ACUÍFERO SUPERIOR, SEGÚN VALORES DE DGA (1995). ....	49
TABLA 2.22 PROVINCIAS Y COMUNAS DE LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA. ....	49
TABLA 2.23 PROYECTOS MINEROS UBICADOS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA E INGRESADOS AL SEA DE LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA. ....	53
TABLA 2.24 PROYECCIÓN INFORME 2014 POBLACIÓN REGIÓN ARICA Y PARINACOTA. ....	56
TABLA 2.25 REPORTES DE CRECIDAS EN EL RÍO LLUTA EN MEDIOS DE DIFUSIÓN .....	61
TABLA 2.26 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE FRECUENCIA PARA PRECIPITACIÓN .....	62
TABLA 2.27 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE FRECUENCIA PARA CAUDAL.....	64
TABLA 2.28 RESUMEN CUANTITATIVO DE LA SERIE HISTÓRICA (1985-2015) Y LAS SERIES PROYECTADAS, DE PRECIPITACIONES ANUALES EN LA CUENCA RÍO LLUTA.....	68

TABLA 2.29 RESUMEN CUANTITATIVO DE LA SERIE HISTÓRICA (1985-2015) Y LAS SERIES PROYECTADAS, DE TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	70
TABLA 2.30 RESUMEN CUANTITATIVO DE LA SERIE HISTÓRICA (1985-2015) Y LAS SERIES PROYECTADAS, DE VALORES DE ESCORRENTÍA MEDIA ANUAL EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	72
TABLA 2.31 PISOS VEGETACIONALES DE LUEBERT & PLISCOFF (2017) EN CUENCA RÍO LLUTA.....	75
TABLA 2.32 CLASIFICACIÓN HUMEDALES EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	75
TABLA 2.33 UBICACIÓN HUMEDALES EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA .....	76
TABLA 2.34 ÁREAS CON ALGÚN GRADO DE PROTECCIÓN CON FINES DE CONSERVACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA .....	77
TABLA 2.35 GLACIARES EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	79
TABLA 2.36 LISTADO DE CANALES DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	82
TABLA 2.37 COMITÉS DE AGUA POTABLE RURAL DE LA CUENCA RÍO LLUTA. ....	85
TABLA 2.38 NÚMERO Y DISTRIBUCIÓN POR SUBCUENCAS DE LAS ESTACIONES VIGENTES DE LA RED HIDROMÉTRICA EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA .....	86
TABLA 2.39 ESTACIONES METEOROLÓGICAS CONTROLADAS POR LA DGA EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. VER UBICACIÓN EN FIGURA 2.50 SEGÚN NÚMERO (#).....	87
TABLA 2.40 RESUMEN DE LAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CONTROLADAS POR LA DGA EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. VER UBICACIÓN EN FIGURA 2.51 SEGÚN NÚMERO (#).....	89
TABLA 2.41 POZOS DE MONITOREO DE LA DGA (POZOS JICA) EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. VER UBICACIÓN EN FIGURA 2.52 SEGÚN NÚMERO (#). ....	91
TABLA 2.42 LISTADO DE ESTACIONES DE CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA CONTROLADAS POR LA DGA. VER UBICACIÓN EN FIGURA 2.53 SEGÚN NÚMERO (#).....	93
TABLA 2.43 ACTORES RELEVANTES CONVOCADOS A PAC, CUENCA DEL RIO LLUTA.....	100
TABLA 2.44 RELACIONES INTERÉS/INFLUENCIA.....	108
TABLA 2.45 PROBLEMAS MANIFESTADOS POR ACTORES CONVOCADOS A REUNIONES PAC, EN TORNO A LOS OBJETIVOS 1.1, 1.3, 1.4 Y 1.5 DEL PLAN DE ACCIÓN. ....	114
TABLA 2.46 PROBLEMAS MANIFESTADOS POR ACTORES CONVOCADOS A REUNIONES PAC, EN TORNO AL OBJETIVO 2.1 Y 2.2 DEL PLAN DE ACCIÓN.....	115
TABLA 2.47 PROBLEMAS MANIFESTADOS POR ACTORES CONVOCADOS A REUNIONES PAC, EN TORNO AL OBJETIVO 3.1 DEL PLAN DE ACCIÓN .....	116
TABLA 2.48 PROBLEMAS MANIFESTADOS POR ACTORES CONVOCADOS A REUNIONES PAC, EN TORNO AL OBJETIVO 4.1 Y 4.2 DEL PLAN DE ACCIÓN.....	116
TABLA 2.49 INFORMACIÓN DE REGISTRO DE JUNTA DE VIGILANCIA IDENTIFICADA EN CUENCA DEL RÍO LLUTA Y DERECHOS DE AGUA .....	119
TABLA 2.50 DETALLE DE USUARIOS SUSCEPTIBLES DE REGULARIZAR EN JV DE CUENCA DEL RÍO LLUTA .....	119
TABLA 2.51 DETALLE DE DAA SIN COORDENADAS Y SUSCEPTIBLES DE PERFECCIONAR EN CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	119
TABLA 2.52 ACTORES RELEVANTES IDENTIFICADOS EN ESTUDIO PLAN DE RIEGO .....	120
TABLA 2.53 RESUMEN DE TIPOS DE BRECHAS DESDE EL PROCESO PAC. ....	126
TABLA 3.1 COMPONENTES DE DEMANDAS HÍDRICAS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, TOMADOS DEL ESTUDIO DE DGA (2016). ....	127
TABLA 3.2 DEMANDAS REALES EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	128
TABLA 3.3 DEMANDA HÍDRICA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	128

TABLA 3.4 PROVINCIAS Y COMUNAS REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA. ....	129
TABLA 3.5 POBLACIÓN QUE SE ADSCRIBE A UN PUEBLO INDÍGENA. REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA. ....	132
TABLA 3.6 VARIACIÓN INTERCENSAL POBLACIÓN COMUNA DE ARICA. ....	135
TABLA 3.7 VARIACIÓN INTERCENSAL POBLACIÓN COMUNA DE ARICA, SEGÚN SEXOS E ÍNDICE DE MASCULINIDAD. ....	135
TABLA 3.8 POBLACIÓN COMUNAL DE ARICA QUE SE ADSCRIBE A ALGÚN PUEBLO INDÍGENA. ....	136
TABLA 3.9 INDICADORES DE POBREZA EN LA COMUNA DE ARICA. ....	137
TABLA 3.10 VARIACIÓN INTERCENSAL POBLACIÓN EN LA COMUNA DE PUTRE, SEGÚN SEXO E ÍNDICE DE MASCULINIDAD. ....	137
TABLA 3.11 POBLACIÓN COMUNAL DE PUTRE QUE SE ADSCRIBE A ALGÚN PUEBLO INDÍGENA. ....	138
TABLA 3.12 TASA DE POBREZA EN LA COMUNA DE PUTRE. ....	138
TABLA 3.13 VARIACIÓN INTERCENSAL POBLACIÓN EN LA COMUNA DE GENERAL LAGOS, SEGÚN SEXO E ÍNDICE DE MASCULINIDAD. ....	139
TABLA 3.14 POBLACIÓN COMUNAL QUE SE ADSCRIBE A ALGÚN PUEBLO INDÍGENA EN LA COMUNA DE GENERAL LAGOS. ....	140
TABLA 3.15 RESUMEN DE DERECHOS Y CAPACIDAD DE SONDAJES DE ARICA. ....	141
TABLA 3.16 PROYECCIONES DE POBLACIÓN Y DEMANDA DE PRODUCCIÓN EN LAS ÁREAS CONCESIONADAS POR AGUAS DEL ALTIPLANO. ....	141
TABLA 3.17 PROYECCIÓN DE CAUDALES Y PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE HASTA EL AÑO 2032. ....	143
TABLA 3.18 SISTEMAS DE AGUA POTABLE RURAL EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	144
TABLA 3.19 ESTIMACIÓN DEMANDA DE AGUA POTABLE RURAL EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA (AÑO BASE: 2015). ....	145
TABLA 3.20 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA PARA AGUA POTABLE RURAL ANUAL (MM <sup>3</sup> /AÑO) – PERÍODO 2016-2040 – SUBCUENCAS DEL RÍO LLUTA. ....	145
TABLA 3.21 RESUMEN DE DERECHOS CONCEDIDOS A EMPRESA SANITARIA PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE ARICA EN EL VALLE DEL RÍO LLUTA. ....	147
TABLA 3.22 RESUMEN DE DERECHOS Y CAPACIDAD DE SONDAJES DE ARICA. ....	147
TABLA 3.23 ÁREAS CON ALGÚN GRADO DE PROTECCIÓN CON FINES DE CONSERVACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	148
TABLA 3.24 CAUDALES PARA PROTECCIÓN AMBIENTAL (M <sup>3</sup> /S). ....	148
TABLA 3.25 DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS OTORGADOS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA CON UN CAUDAL ECOLÓGICO ASOCIADO. ....	150
TABLA 3.26 ESTIMACIÓN DEMANDA HÍDRICA USO AGRÍCOLA ACTUAL TOTAL EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA (AÑO BASE: 2015). ....	151
TABLA 3.27 ESTIMACIÓN DEMANDA HÍDRICA USO AGRÍCOLA ACTUAL DE LA SUPERFICIE EN SECANO POR GRUPO DE CULTIVO EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA (AÑO BASE: 2015). ....	152
TABLA 3.28 ESTIMACIÓN DEMANDA DE RIEGO EN USO AGRÍCOLA ACTUAL TOTAL PARA LA CUENCA DEL RÍO LLUTA (AÑO BASE: 2015). ....	152
TABLA 3.29 ESTIMACIÓN DEMANDA DE RIEGO EN USO AGRÍCOLA ACTUAL POR GRUPO DE CULTIVO EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA (AÑO BASE: 2015). ....	152
TABLA 3.30 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA USO AGRÍCOLA FUTURA TOTAL (AÑO 2040) – CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	153
TABLA 3.31 RESUMEN DE LAS 19 ZONAS DE RIEGO (ZR) UTILIZADAS EN LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA CON WEAP, CON ÁREAS PARA EL AÑO 2019. ....	158

TABLA 3.32 ESTIMACIÓN DEMANDA HÍDRICA USO MINERO ACTUAL PARA LA CUENCA DEL RÍO LLUTA (AÑO BASE: 2015).....	161
TABLA 3.33 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA MINERA ANUAL (CONSUNTIVA, M <sup>3</sup> /AÑO) – PERÍODO 2016-2040 – SUBCUENCA RÍO LLUTA BAJO – VALOR INFERIOR, CENTRAL Y SUPERIOR, N.C. 70%.....	161
TABLA 3.34 DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	163
TABLA 3.35 ESTIMACIÓN DEMANDA HÍDRICA USO PECUARIO ACTUAL EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA (AÑO BASE: 2015).....	163
TABLA 3.36 ESTIMACIÓN DEMANDA HÍDRICA USO PECUARIO ACTUAL POR TIPO DE GANADERÍA EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA (AÑO BASE: 2015). ....	164
TABLA 3.37 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA PARA USO PECUARIO ANUAL (MM <sup>3</sup> /AÑO) – PERÍODO 2016-2040 – SUBCUENCAS DEL RÍO LLUTA. ....	164
TABLA 3.38 ESTIMACIÓN DEMANDA HÍDRICA USO FORESTAL ACTUAL PARA LA CUENCA DEL RÍO DE LLUTA (AÑO BASE: 2015).....	165
TABLA 3.39 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA PARA USO FORESTAL ANUAL (MM <sup>3</sup> /AÑO) – PERÍODO 2016-2040 – SUBCUENCAS DEL RÍO LLUTA. ....	166
TABLA 3.40 CAUDALES TURÍSTICOS (M <sup>3</sup> /S). ....	167
TABLA 3.41 SÍNTESIS DE DEMANDA ACTUAL (2015) DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	169
TABLA 3.42 SÍNTESIS DE DEMANDA ACTUAL (2015) SEGÚN USOS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	169
TABLA 3.43 RESUMEN DE DEMANDAS DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	170
TABLA 3.44 MONITOREO DE EXTRACCIONES EFECTIVAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL SHAC DE LLUTA BAJO.....	171
TABLA 3.45 TRANSACCIONES HISTÓRICAS DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, AÑOS 1988-2020 .....	173
TABLA 3.46 TRANSACCIONES DE ACCIONES Y VALOR MEDIO DE LAS TRANSACCIONES POR ORGANIZACIÓN DE USUARIOS DEL AGUA (OUA) DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	177
TABLA 4.1 CUENCA Y SUBCUENCAS DEL RÍO LLUTA. ....	178
TABLA 4.2 SUBCUENCA Y SUBSUBCUENCAS DEL RÍO LLUTA ALTO.....	180
TABLA 4.3 SUBCUENCA Y SUBSUBCUENCAS DEL RÍO LLUTA BAJO.....	180
TABLA 4.4 CATEGORÍA DE PARÁMETROS ANALIZADOS POR CADA ESTACIÓN DGA PARA LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	186
TABLA 4.5 CLASIFICACIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA POR SECTORES.....	187
TABLA 4.6 RESUMEN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES EN LA CUENCA DE RÍO LLUTA.....	191
TABLA 4.7 RESUMEN DE LA OFERTA DE AGUA SUPERFICIAL PARA LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	201
TABLA 4.8 DAA SUPERFICIALES Y CAUDAL MEDIO ANUAL OTORGADOS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA .	201
TABLA 4.9 DAA SUPERFICIALES OTORGADOS Y CAUDAL OTORGADO SEGÚN TIPO DE SOLICITUD EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA .....	201
TABLA 4.10 DAA SUPERFICIALES OTORGADOS SEGÚN TIPO Y EJERCICIO DEL DERECHO EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	202
TABLA 4.11 TOTAL DE DAA SUPERFICIALES GEORREFERENCIADOS Y NO GEORREFERENCIADOS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA .....	202
TABLA 4.12 SECTORES HIDROGEOLÓGICOS DE APROVECHAMIENTO COMÚN EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA. ....	204

TABLA 4.13 ACUÍFEROS PROTEGIDOS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	206
TABLA 4.14 RESUMEN DE LA OFERTA SUBTERRÁNEA PARA LA CUENCA DEL RÍO LLUTA .....	212
TABLA 4.15 RESUMEN CALIDAD QUÍMICA AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA, SUBCUENCA RÍO LLUTA BAJO .....	214
TABLA 4.16 DAA SUBTERRÁNEAS Y CAUDAL MEDIO ANUAL OTORGADOS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA	216
TABLA 4.17 DAA SUBTERRÁNEAS OTORGADOS Y CAUDAL OTORGADO SEGÚN TIPO DE SOLICITUD EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA .....	216
TABLA 4.18 DAA SUBTERRÁNEAS OTORGADOS SEGÚN TIPO Y EJERCICIO DEL DERECHO EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	217
TABLA 4.19 TOTAL DE DAA SUBTERRÁNEAS GEORREFERENCIADOS Y NO GEORREFERENCIADOS EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA .....	217
TABLA 4.20 RESUMEN OFERTA DE AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA .....	219
TABLA 5.1 RESUMEN DE RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN EN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS (PERIODO 1985-2019).....	224
TABLA 5.2 BALANCE HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA (CUENCA Y ACUÍFERO), EN EL PERIODO 1985 – 2019. ....	232
TABLA 5.3 BALANCE HÍDRICO LEGAL EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA (CUENCA Y ACUÍFERO), EN EL PERIODO 1985 – 2019. ....	232
TABLA 5.4 BALANCES CONSIDERANDO EL BALANCE LÍNEA BASE SISTEMA REAL Y LEGAL EN LA CUENCA DEL RÍO LLUTA.....	233
TABLA 5.5 RESUMEN CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD .....	236
TABLA 5.6 INDICADORES DEFINIDOS PARA LA EVALUACIÓN DE ESCENARIOS .....	236
TABLA 5.7 VARIACIÓN DE LAS COMPONENTES DEL BALANCE EN LA CUENCA EN EL SECTOR LLUTA BAJO. ESCENARIO DE GESTIÓN N°1.....	237
TABLA 5.8 VARIACIÓN DE LAS COMPONENTES DEL BALANCE EN EL SHAC DE LLUTA BAJO. ESCENARIO DE GESTIÓN N°2 .....	238
TABLA 5.9 VARIACIÓN DE LAS COMPONENTES DEL BALANCE EN EL SHAC DE LLUTA BAJO. ESCENARIO DE GESTIÓN N°3 .....	239
TABLA 5.10 RESUMEN DE DESCENSOS PROYECTADOS (M) EN CADA ESCENARIO RESPECTO AL PERIODO HISTÓRICO.....	240
TABLA 6.1 EJES Y OBJETIVOS PROPUESTOS PARA PEGH CUENCA DEL LLUTA.....	245
TABLA 6.2 INICIATIVAS EN CARTERA DE INVERSIONES PÚBLICAS MIDESO CATEGORIZADAS COMO OBRAS MAYORES.....	247
TABLA 6.3 INICIATIVAS EN CARTERA DE INVERSIONES PÚBLICAS MIDESO CATEGORIZADAS COMO OBRAS MENORES DE INFRAESTRUCTURA DE RIEGO .....	248
TABLA 6.4 INICIATIVAS EN CARTERA DE INVERSIONES PÚBLICAS MIDESO CATEGORIZADAS COMO OBRAS MENORES DE AGUA POTABLE URBANA Y RED DE AGUAS SERVIDAS .....	249
TABLA 6.5 INICIATIVAS EN CARTERA DE INVERSIONES PÚBLICAS MIDESO CATEGORIZADAS COMO APR .....	250
TABLA 6.6 INICIATIVAS EN CARTERA DE INVERSIONES PÚBLICAS MIDESO CATEGORIZADAS COMO OBRAS MENORES PARA CONTROL ALUVIONAL Y DE CRECIDAS .....	252
TABLA 6.7 INICIATIVAS EN CARTERA DE INVERSIONES PÚBLICAS MIDESO CATEGORIZADAS COMO OTRAS OBRAS MENORES. ....	254
TABLA 6.8 INICIATIVAS INTERREGIONALES EN CARTERA DE INVERSIONES PÚBLICAS MIDESO.....	264

TABLA 6.9 IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES PARA PRESENTAR EN ACTIVIDADES PAC .....	268
TABLA 6.10 RELACIÓN ENTRE ACCIONES IDENTIFICADAS, EJES Y OBJETIVOS DEL PEGH.....	270
TABLA 6.11 RECOMENDACIONES PARA FUTURAS ACTUALIZACIONES DE LA MODELACIÓN .....	272
TABLA 6.12 PROPUESTAS DE INICIATIVAS DESDE DIFROL PARA EL PEGH LLUTA. ....	273
TABLA 7.1 RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE ACCIONES Y PRIORIZACIÓN. ....	275
TABLA 7.2 ACCIONES PRIORIZADAS EN LA CUENCA DE LLUTA SEGÚN CRITERIO DE CORTE. ....	276
TABLA 7.3 RESULTADOS DEL CRUCE DEL ACCIONES (24) CON INICIATIVAS PREVIAS (35).....	278
TABLA 7.4 INICIATIVAS PLAN CUENCA DEL LLUTA.....	280
TABLA 7.5 INICIATIVAS DEL PLAN CON COSTOS Y PLAZOS. ....	281
TABLA 7.6 FICHA RESUMEN DE INICIATIVA.....	282
TABLA 7.7 CRONOGRAMA DEL PLAN DE ACCIÓN .....	284
TABLA 7.8 DISTRIBUCIÓN DE COSTOS SEGÚN EJECUTOR: VAC Y CAE (\$ MILLONES DE PESOS) INICIATIVAS PROPUESTAS. ....	285
TABLA 9.1 CANTIDAD DE INICIATIVAS DEL PEGH SEGÚN PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN .....	298
TABLA 9.2 PLAN DE MONITOREO DE PEGH .....	300



# 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## 1.1 Introducción

La Dirección General de Aguas (DGA), en su rol de organismo encargado de promover la gestión y administración del recurso hídrico, ha licitado el estudio "Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las Cuencas de Lluta y Pampa del Tamarugal", con el código 1019-92-LQ19 de Mercado Público, adjudicando en febrero del 2020 su ejecución a la empresa consultora ICASS y con una duración de 14 meses.

Cabe señalar que la cuenca del río Lluta es una de las más importantes de la región de Arica y Parinacota, al ser la fuente de agua para una gran parte de la población de esta región, y al mismo tiempo aportar con un PIB considerable a la misma.

Este trabajo se enmarca dentro de la estrategia DGA que propone un nuevo enfoque de gestión estratégica para la cuenca, que proporcione conocimiento y diagnóstico para formular planes de acción, que cuenten con productos reales de acuerdo a las necesidades propias de la cuenca, para formular una hoja de ruta realizable y medible, desde la perspectiva DGA para hacer frente a los desafíos que enfrenta Chile para gestionar el agua. Junto a esto se propone entregar y transferir conocimiento sobre herramientas de cálculo de balance de agua para la cuenca, y un portafolio de acciones que considere los efectos del cambio climático. Por esta razón, los estudios DGA de oferta y demanda de agua y balance hídrico deberán tener proyecciones a 10 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que tomen decisiones respecto al recurso hídrico, y analizar el impacto del cambio climático, para así proponer una cartera de acciones DGA y de terceros público-privados, en pro del desarrollo hídrico de las cuencas de Chile.

Por tanto, este plan estratégico de cuenca contempla integrar un portafolio de acciones a corto, mediano, y largo plazo, dirigido principalmente a la DGA, como también a otros organismos del Estado, y organismos privados como Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA), Empresas Privadas, siendo éstos algunos de los principales actores involucrados en la gestión eficiente del agua y la adaptación de las diversas actividades de desarrollo socioeconómico y medioambiental al cambio climático.

Una característica única del plan de cuenca es que se dispondrá de un modelo hidrológico operacional superficial-subterráneo actualizable en el tiempo, que apoyará el análisis de las estrategias de desarrollo, con el fin de tomar las decisiones en función de la mejor información disponible permanentemente.

Finalmente, se debe resaltar que este trabajo se alinea con los desafíos y ejes de trabajo de la actual Mesa Nacional del Agua, la cual tiene por objeto proponer un plan para hacer frente a la crisis hídrica que atraviesa el país. Dicho trabajo se pretende desarrollar a partir de una serie de ejes entre los cuales se cuentan, la Planificación estratégica de

cuencas, la gestión sustentable de acuíferos, la institucionalidad a nivel de cuencas, la investigación e información pública, entre otros.

El presente Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca del Río Lluta considera las materias de caracterización, demanda hídrica, oferta hídrica, balance de agua y modelación de la cuenca, acciones, cartera de iniciativas e implementación del plan.

## 1.2 Objetivos

El objetivo general del presente estudio es proponer un plan estratégico indicativo para la cuenca del río Lluta, que permita conocer la oferta y demanda actual de agua, establecer un balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer una cartera de acciones DGA y de terceros (público-privados), que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad.

Los objetivos específicos del Plan de la cuenca son los siguientes:

- Conocer el estado actual de la cuenca de Lluta en cuanto a oferta, demanda, balance de agua (en cuanto a derechos y demandas de agua) y sus respectivas herramientas de cálculo (modelos), control de extracciones, calidad físico-química de fuentes de aguas superficiales y subterráneas, gobernanza, y red hidrométrica superficial, subterránea, de calidad, de glaciología y nieves.
- Construir y/o actualizar los modelos de simulación hidrológicos, e integrarlos a nivel superficial-subterráneo.
- Definir acciones para restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural y urbana, por tipo de usuario tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
- Diagnosticar estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas. Definir acciones para proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.
- Diagnosticar el estado de la infraestructura hidráulica actual y proponer acciones para mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares). Se deberá analizar el estado de funcionamiento, la antigüedad y confiabilidad de los sistemas en general.
- Identificar las brechas entre oferta y demanda de agua en distintos escenarios de cambio climático, sequía e inundaciones, estableciendo un portafolio de acciones (estrategias de gestión) para reducirlas. Se deberá establecer un caso base y distintos escenarios para la evaluación.
- Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones, mediante la utilización de modelos operativos de gestión, los cuales deberán tener escenarios de planificación a corto, mediano y largo plazo, y ser adaptativos en el tiempo.
- Entregar estrategias para promover y revitalizar la alianza público-privada, y así incrementar cualitativamente la inversión requerida en infraestructura e investigación.

## 2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

A partir del levantamiento y análisis de antecedentes, este capítulo presenta una caracterización de la cuenca del río Lluta, en sus diferentes dimensiones: física (geomorfología, geología, suelos, hidrología, hidrogeología, división político administrativa, actividad económica), climática, ambiental, infraestructura hídrica, red hidrométrica, nuevas fuentes de agua y gobernanza de agua.

La cuenca del Río Lluta (Figura 2.1) se ubica en la región de Arica y Parinacota, y abarca las provincias de Arica y Parinacota, y las comunas de General Lagos, Putre y Arica. Sus aguas drenan de Este a Oeste, es decir desde la cordillera de los Andes hasta su salida en el mar.

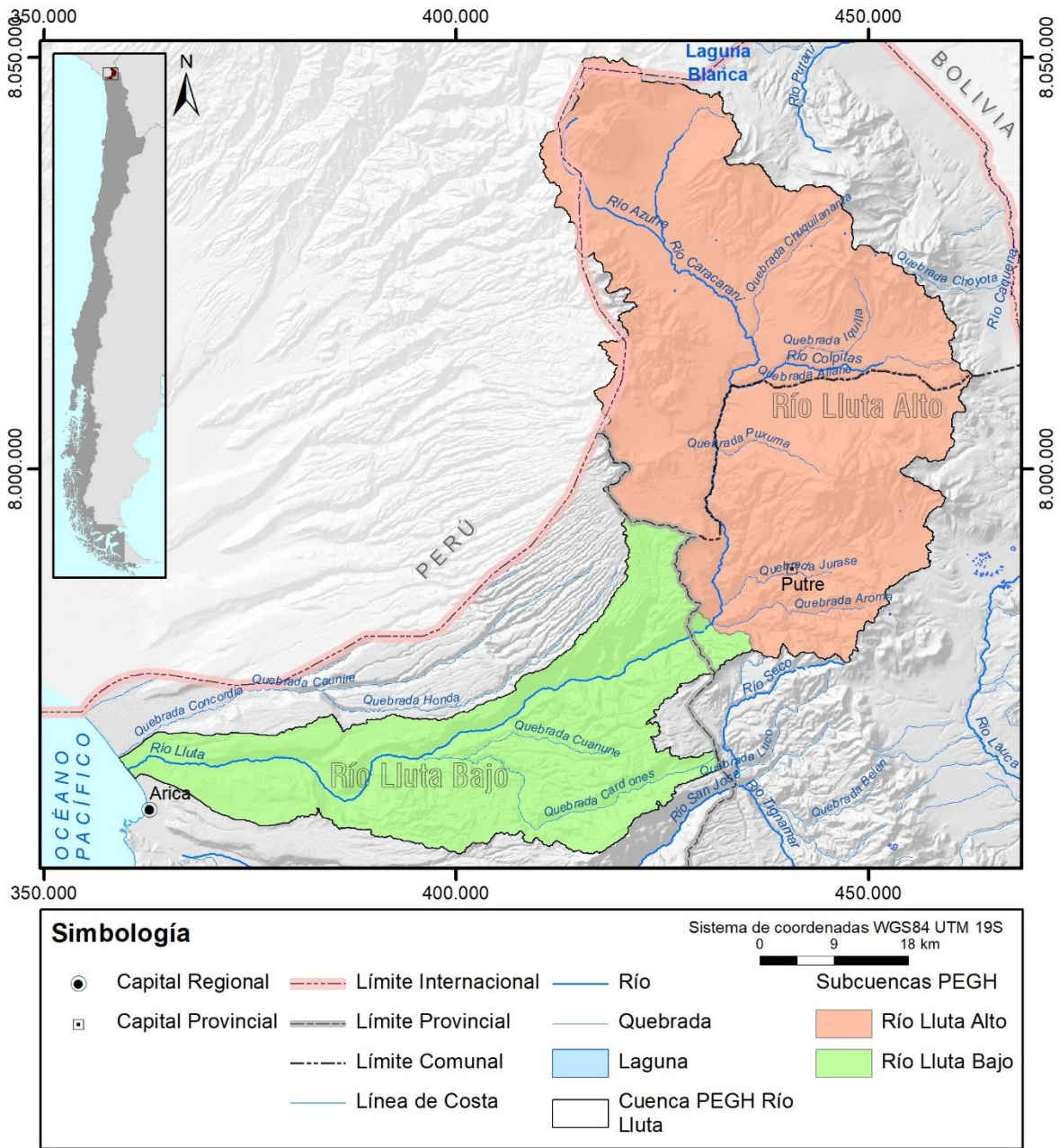
Si bien existe una delimitación administrativa de la cuenca, definida en las cuencas del Banco Nacional de Aguas (BNA), es necesario considerar que dicha delimitación no representa correctamente la realidad topográfica de la cuenca, motivo por el cual se propone una actualización de la delimitación, presentada en la Figura 2.1, con una extensión de 3.415 km<sup>2</sup>. Esta delimitación se basa en la cuenca definida por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH), de 2015, corregida según los últimos modelos de elevación digitales disponibles (Alos Palsar y STRM). La parte baja de la cuenca ha sido adicionalmente modificada de observaciones Google Earth, considerando la extensión del acuífero y la existencia de derechos subterráneos. Mayores antecedentes con respecto a las cuencas BNA y DARH, así como con respecto al procedimiento de delimitación de la cuenca se incluyen en la sección 1.1 del Anexo J.

La cuenca del Río Lluta se divide administrativamente en las subcuencas de Lluta Alto y Lluta Bajo, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 2.1, subcuencas que han sido ajustadas siguiendo los mismos criterios señalados anteriormente. La divisoria es muy similar a la provincial.

**Tabla 2.1 Subcuencas del río Lluta y sus provincias y comunas**

Código Subcuenca	Subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Provincia	Comuna
0120	Río Lluta Alto	2.251	Parinacota	General Lagos
				Putre
0121	Río Lluta Bajo	1.164	Arica	Arica
			Parinacota	Putre

Fuente: elaboración propia en base a Mapoteca DGA.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.1 Localización de la Cuenca del Río Lluta**

## 2.1 Dimensión física

La cuenca del río Lluta se desarrolla desde la misma cordillera de Los Andes hasta su salida al mar, lo que le confiere al río un escurrimiento de carácter permanente. El río Lluta tiene una longitud de 150 km aproximadamente y presenta inicialmente un recorrido en sentido norte-sur hasta llegar a la junta con la quebrada Jurase, donde cambia su trazado en dirección hacia el suroeste para llegar al sector de Poconchile donde se encuentra con el cordón montañoso de San Martín.

En los siguientes apartados, se realiza una descripción de las características geográficas de la cuenca del río Lluta, incluyendo geomorfología, geología, suelo, hidrología, hidrogeología, división político-administrativa y actividad económica.

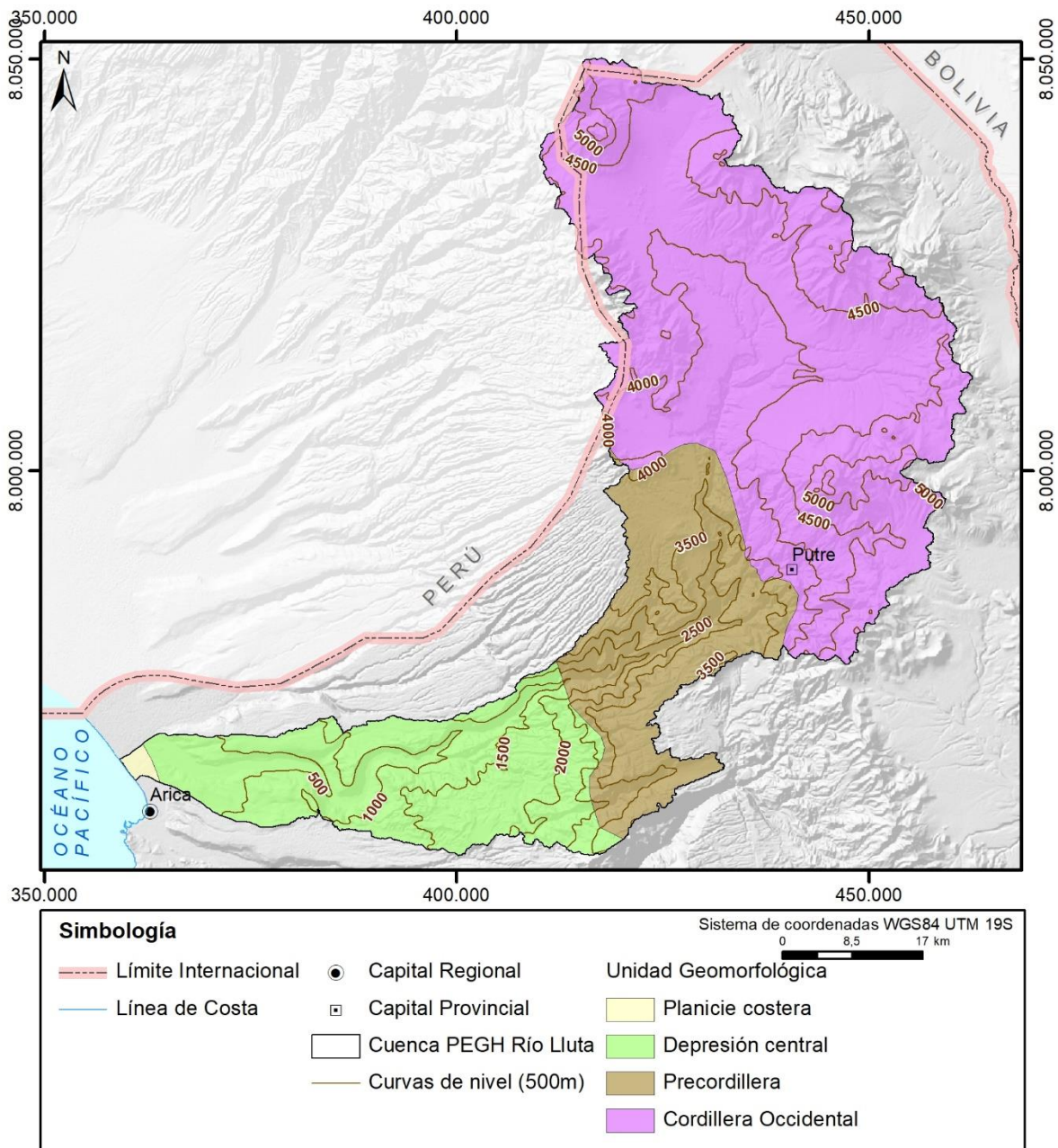
### 2.1.1 Geomorfología

Del punto de vista geomorfológico, la cuenca del río Lluta en su parte baja abarca (de oeste a este) la Depresión Intermedia y parte de la Precordillera. La parte alta de la cuenca del río Lluta, se extiende por parte de la Precordillera, pero principalmente por la Cordillera Occidental. En la Figura 2.2 se muestran las unidades geomorfológicas de la cuenca del río Lluta.

La **Depresión Central** tiene un ancho de unos 50 km. Es una región de topografía relativamente plana, donde la altitud aumenta de oeste a este, de unos 100 a 2.300 m, y está rellena con depósitos volcano-sedimentarios y volcánicos distales, limitada abruptamente al este por el sistema de fallas denominado WTS (West-Vergent Thrust System). El límite occidental de la Depresión Central en el sector de la cuenca del Lluta son las **Planicies Costeras**, una delgada franja de unos 3 km de ancho y más al oeste se encuentra el océano Pacífico. Su superficie está localmente disecada por el cañón del río Lluta. Al sur y al norte de la quebrada, se localiza un gran depósito de remoción en masa, la Avalancha Lluta, proveniente del borde occidental de la Precordillera (SERNAGEOMIN, 2004).

La **Precordillera** corresponde a una meseta alargada, de un ancho variable alrededor de los 30 km, cuya altitud aumenta de oeste a este, de 2.300 a 3.600-3.800 m. La superficie es regular y relativamente continua; está cortada por la quebrada profunda de Lluta. Al norte esta superficie se encuentra suavemente plegada (SERNAGEOMIN, 2004).

La **Cordillera Occidental** presenta una topografía muy irregular, con altitudes que aumentan abruptamente, de oeste a este, de 3.600-3.800 a cerca de los 5.300 m s.n.m. en la cuenca del Lluta. Las mayores elevaciones corresponden a los edificios volcánicos neógenos, que conforman el límite oriental de la cuenca del río Lluta y rodean las depresiones intramontañas del Lauca y Caquena-Cosapilla, que constituyen el Altiplano. El límite de la Cordillera Occidental con la Precordillera es de forma irregular y de origen tectónico (SERNAGEOMIN, 2004).



Fuente: modificado de Albers (2012).

**Figura 2.2 Distribución de las unidades geomorfológicas de la cuenca del río Lluta.**

### 2.1.2 Geología

La Geología de la cuenca del río Lluta ha sido caracterizada según las cartas geológicas Arica, escala 1:250.000 (SERNAGEOMIN, 2004) y Visviri y Villa Industrial, escala 1:100.000 (SERNAGEOMIN, 2012). Ambas cartas geológicas elaboradas por el SERNAGEOMIN abarcan la totalidad de la cuenca.

Se realizó una compilación de la información geológica, la que se presenta a continuación en base a las litologías y estructuras presentes. Mayores detalles de litología, estructuras y evolución tectónica se pueden revisar la sección 2 del Anexo J.

#### **Litología**

La caracterización litológica se realizó agrupando las formaciones geológicas según sus características de permeabilidad similares, con el fin de facilitar el entendimiento hidrogeológico de las unidades y se pueden observar en la Figura 2.3. De este modo, se definen dos grandes tipos de unidades: 1) rocas, y 2) depósitos no consolidados a semiconsolidados y tobas.

#### ***Unidades litológicas***

Se denominan con el término de unidades litológicas a las rocas volcánicas y sedimentarias clásticas del Oligoceno al Holoceno y a las rocas de edad Paleozoico al Cretácico, cuyas permeabilidades primarias varían desde medias a nulas. Estas se resumen a continuación desde las más antiguas a las más recientes.

#### **Unidades del Paleozoico-Cretácico indiferenciadas de la Precordillera (PzKpc)**

Unidad compuesta por rocas ígneas y sedimentarias de edad mesozoica y cenozoica, las que afloran en la precordillera, además de afloramientos aislados en cerros isla en la depresión Central. Las unidades **mesozoicas** corresponden a la Formación Livilcar, sedimentaria clástica y carbonatada del Jurásico – Cretácico Inferior, y los intrusivos del Cretácico Superior – Paleoceno de Lluta, principalmente granodioritas y monzodioritas cuarcíferas que afloran en las quebradas de Lluta y Cardones. Entre las rocas de **edad cenozoica** se encuentran los intrusivos del Eoceno, una franja de orientación NNW – SSE que aflora al sur del volcán Tacora compuesta por granodioritas, monzodioritas y monzonitas cuarcíferas; y entre Socoroma y Putre aflora un intrusivo del Mioceno medio, de composición intermedia, de diorita a monzonita.

#### **Unidades sedimentarias clásticas del Mioceno al Plioceno (MPs)**

Son rocas sedimentarias clásticas de origen fluvial o fluviolacustre, compuestas por gravas, conglomerados, brechas sedimentarias, areniscas, limolitas, arcillolitas y calizas, con intercalaciones menores de rocas piroclásticas. La componen las formaciones Azapa (Oligoceno) con afloramientos al noreste de la localidad de Chapisca, El Diablo (Mioceno Superior – Mioceno Inferior) expuesta en el sector occidental de la Depresión Central, Huaylas (Mioceno Superior) en la Precordillera, Visviri (Plioceno Superior – Pleistoceno

Inferior) en gran parte del sector alto de la cuenca y Lauca (Plioceno Superior – Pleistoceno Inferior) que aflora al este de Putre.

#### Unidades volcánicas (MHrv)

Corresponden a lavas de composición basáltica a riódacítica, asociadas a volcanes de edad Mioceno al Reciente. Se desarrollan en la zona nororiental de la precordillera, entre Humapalca y Socoroma, y al este de Colpitas. Integran esta unidad los volcanes y remanentes de volcanes del Mioceno inferior, de composición andesítico-basáltico; los volcanes y remanentes de volcanes del Mioceno Medio con coladas de lavas y subordinadamente a lavas-domo, conteniendo de manera local intercalaciones de tobas y rocas sedimentarias epiclásticas; los volcanes del Mioceno Superior, y pequeños afloramientos de los volcanes y centros eruptivos menores del Plioceno, de composición andesítica a dacítica; los volcanes y centros eruptivos del Pleistoceno y del Holoceno, que afloran en la parte alta de la cuenca, en la cordillera Occidental. Esta unidad también está compuesta por los miembros lávicos de la Formación Oxaya (Oligoceno Superior – Mioceno Inferior), que corresponde a la andesita Socoroma.

Cabe destacar que los volcanes y centros eruptivos menores del Plioceno y Pleistoceno, presentan núcleos expuestos con zonas de alteración hidrotermal y depósitos de azufre asociados a la actividad termal, los que condicionarían la calidad del agua en la parte alta de la cuenca.

#### ***Depósitos no consolidados a semiconsolidados y tobas***

En la cuenca existe una gran variabilidad de depósitos no consolidados y semiconsolidados, cuyas permeabilidades primarias varían desde bajas a altas, dependiendo del grado de consolidación y granulometría.

#### Depósitos sedimentarios clásticos con intercalaciones volcánicas del Oligoceno al Mioceno (OMsv)

Corresponden a rocas sedimentarias clásticas constituidas principalmente de areniscas medias a gruesas, areniscas conglomerádicas y conglomerados, polimícticos y monomícticos, semi a bien consolidados, de edad Oligoceno – Mioceno. Conforman esta unidad los miembros volcanosedimentarios de las Formaciones Oxaya y Lupica.

#### Depósitos de Avalancha de Lluta (Msrl)

Corresponde a depósitos semiconsolidados de un gran evento de remoción en masa, de edad Mioceno superior. El material rocoso proviene de la Formación Oxaya y en menor medida de la Formación El Diablo. Están localizados en la Depresión Central y borde occidental de la Precordillera, al norte y sur de la quebrada.

### Tobas soldadas (Mit)

En esta unidad se agrupan tobas de lapilli y cenizas, vítreas y líticas, de composición dacítica a riolítica, mediana a fuertemente soldadas, correspondiente a los miembros tobáceos de volcanes del pleistoceno y holoceno, Formación Oxaya, Ignimbrita Lauca.

### Depósitos aluviales del Mioceno Superior-Plioceno (MPa)

Corresponden a ripios y gravas clastosoportados y arenas, semiconsolidados con intercalaciones de limos, tobas y depósitos epiclásticos, y localmente capas de sal. Se distribuyen principalmente en la parte media y baja de la cuenca, y forman mantos extensos o expuestos de manera discontinua, que cubren en discordancia los Depósitos de la Avalancha Lluta. Los clastos son predominantemente de rocas volcánicas, andesíticas a riolíticas, e intrusivas granodioríticas. La matriz es arenosa o limosa.

### Depósitos sedimentarios clásticos no consolidados (MHc)

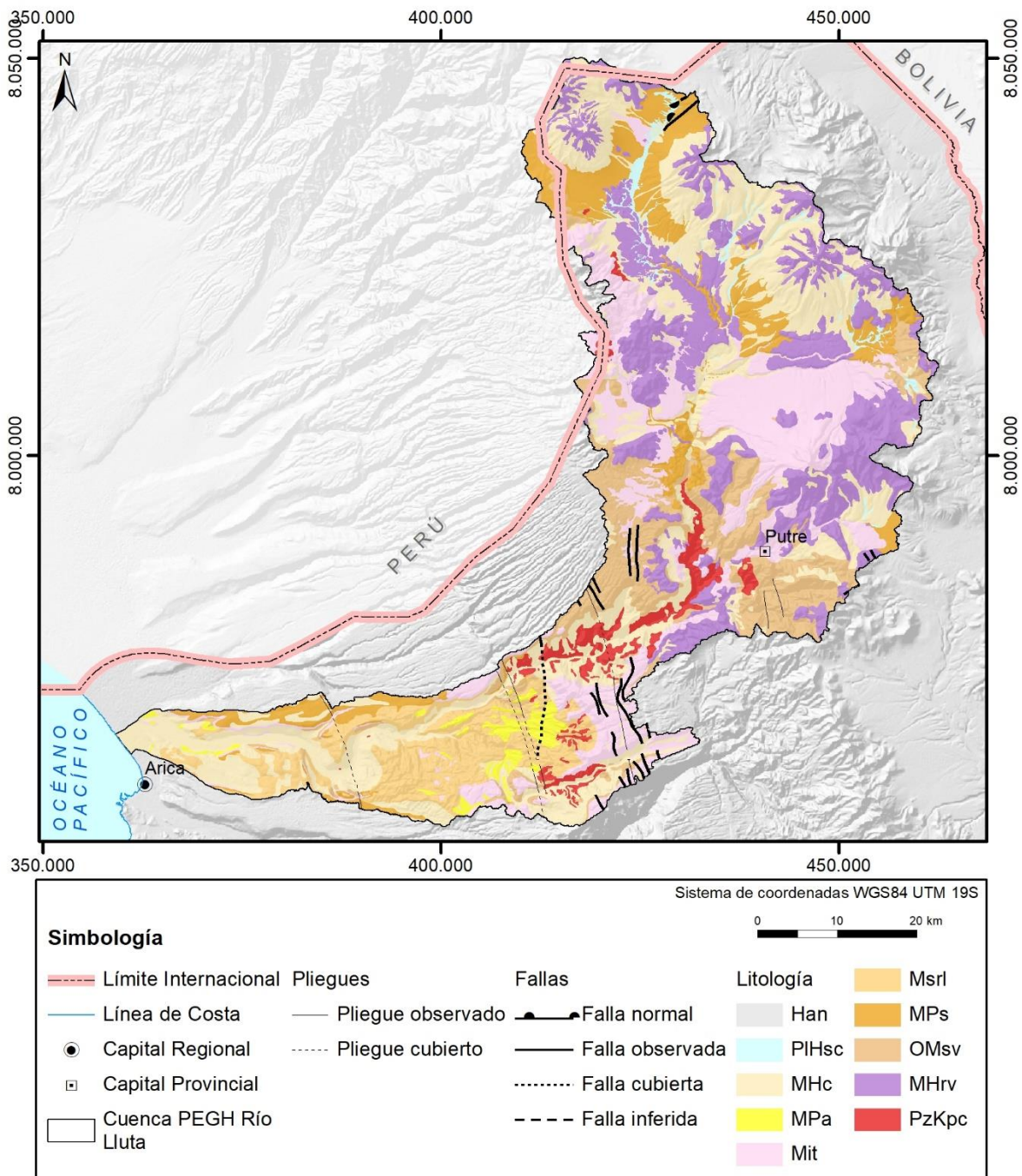
Corresponden a depósitos de bloques, gravas, arenas, limos y arcillas, de pobre a buena selección. Se desarrollan ampliamente a lo largo de la depresión Central, en la precordillera y en la Cordillera Occidental, donde rellenan valles y quebradas. Entre ellos se encuentran los depósitos fluviales del Plioceno - Holoceno. Además, se encuentran los depósitos litorales, de remoción en masa, coluviales, aluviales y glaciales del Pleistoceno - Holoceno y los depósitos eólicos (Holoceno), constituidos por arenas finas a gruesas, bien seleccionadas, no consolidadas. Estos depósitos no consolidados son los de mayor potencial hidrogeológico en la cuenca.

### Depósitos salinos con intercalaciones clásticas (PIHsc)

Corresponden a mantos subhorizontales de sales, limos salinos y costras salinas y compuestos principalmente por depósitos de sulfatos y cloruros, se localizan al noreste de la localidad de Chislluma, en el límite internacional con Perú. Se incluyen también los depósitos palustres de limos y turbas, consolidados a semiconsolidados, que se caracterizan por presentar material orgánico, cenizas volcánicas y detritos, se ubican esencialmente en quebradas y depresiones de la Cordillera Occidental.

### Depósitos antropogénicos (Han)

Corresponden a depósitos o acumulaciones derivados de la actividad humana de edad máxima Holoceno Superior. En la cuenca corresponden principalmente a limos, arcillas y arenas, acumulados en un embalse de regadío, al suroeste de Humapalca, al oeste de Pampa Chañonasa.



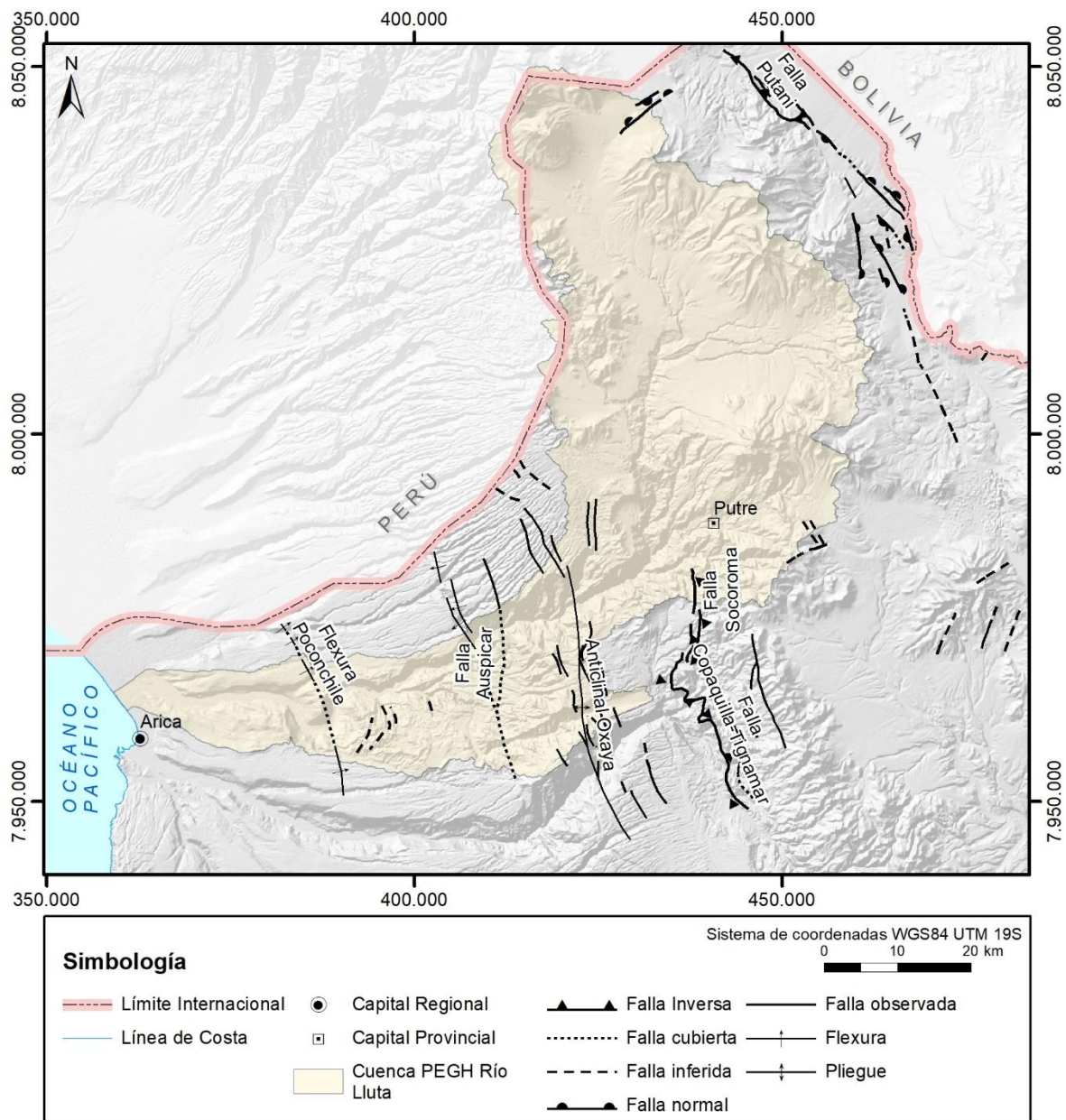
Fuente: modificado de SERNAGEOMIN (2004) y SERNAGEOMIN (2012)

**Figura 2.3 Mapa geológico de la cuenca del río Lluta.**

### **Estructuras**

Las estructuras regionales que afectan las unidades del Mesozoico y Cenozoico, presentan una dirección principal norte-sur a noroeste-sureste, algunas de las cuales limitan los rasgos fisiográficos mayores de la región y controlan los cambios de pendiente

(SERNAGEOMIN, 2004). Las principales estructuras geológicas en la cuenca corresponden a fallas, pliegues y flexuras, y se pueden observar en la Figura 2.4.



Fuente: modificado de SERNAGEOMIN (2004) y SERNAGEOMIN (2012)

**Figura 2.4 Principales estructuras geológicas en la cuenca del río Lluta**

La deformación de edad Miocena-Holocena se evidencia con estructuras del tipo pliegues y sistemas de cabalgamientos montados hacia el oeste por fallas inversas. Al noroeste de Putre, una falla inversa, de 15 km de largo y bajo ángulo, monta las capas plegadas de la Formación Lupica sobre las capas subhorizontales de las formaciones Oxaya y Huaylas. Al este de Socoroma, el pliegue más occidental del sistema corresponde a un sinclinal asimétrico, con flancos 30-40°E y 50-70°W, cortado en la base por la falla

Socoroma que monta, hacia el oeste, la Formación Lupica sobre la Formación Oxaya y el volcán Quevilque.

En el curso medio-alto del valle Lluta, en la localidad de Iquecta, al este de Aranche, se observa una zona de fallas, de unos 2 km de ancho. Estas fallas subverticales de edad eocena y oligocena inferior temprana son de rumbo N5°E, se podrían correlacionar con el sistema de fallas Domeyko, de dirección general norte-sur y movimientos de rumbo alternados, transpresivos y compresivos, de similar edad.

La deformación oligocena se expresa en la cuenca con la falla Ausipar que aflora con un rumbo N30°W y un manteo variable desde 50°E hasta subhorizontal en la quebrada Lluta, localidad de Tiñare. En Millune, 3 km al este de Tiñare, aflora una falla norte-sur, subvertical inclinada al este, que corta las rocas de la Formación Livilcar. La falla de Millune puede ser considerada como una rama oriental secundaria de la Falla Ausipar (SERNAGEOMIN, 2004).

### 2.1.3 Suelos

Para la descripción de los suelos de la cuenca del río Lluta, el estudio DGA (2004) ha dividido la cuenca en cuatro secciones, cuyas características se describen en cada sección y se resumen en la Tabla 2.2.

- a) Sección superior de la cuenca (alta cordillera) Zona de altiplano; suelos con desarrollo orgánico débil (esqueléticos), de material volcánico. Gran capacidad de retención de agua. Existen cuencas cerradas con drenaje restringido y suelos de alto contenido de materia orgánica conocidos como bofedales.
  - Textura: gruesa (arenosa franca a muy arenosa)
  - Permeabilidad: alta (suelos permeables)
  - Escorrentía: lenta
  - Riesgo de erosión: bajo
  
- b) Sección media de la cuenca (precordillera) Planos deposicionales o conos aluviales, sobre los que se desarrollan suelos estratificados por lluvias torrenciales del invierno altiplánico. El escurrimiento superficial se realiza de dos maneras: como erosión lineal en el curso superior y medio de las quebradas, y como erosión laminar en el curso inferior de dichas depresiones, dejando las laderas verticales.
  - Textura: gruesa y masiva (arenosa franca a muy arenosa)
  - Permeabilidad: alta
  - Escorrentía: lenta
  - Riesgo de erosión: bajo
  
- c) Sección baja del valle de la cuenca, suelos con alta salinidad producto de su defectuoso drenaje y asociado a alta evapotranspiración, lo que permite ascenso por capilaridad de las sales de la napa freática.

- Textura: moderadamente fina (franco arcillosa a franco arcillo arenosa)
- Permeabilidad: media
- Escorrentía: media
- Riesgo de erosión: moderado, dependiendo de precipitaciones

d) Sección costera (cordillera de la Costa y plataforma de abrasión) Influencia coluvial, suelos poco desarrollados. Ocupan terraza marina baja.

- Textura: franca (franco arcilloso a franco arenosa) y gruesa (arenosa franca a muy arenosa).
- Permeabilidad: media - alta
- Escorrentía: media - lenta
- Riesgo de erosión: moderado – bajo

**Tabla 2.2 Características de los suelos en cada sección de la cuenca del río Lluta.**

Sección de la cuenca	Textura	Permeabilidad	Escorrentía	Riesgo de Erosión
Superior (altiplano)	Gruesa	Alta	Lenta	Bajo
Media (precordillera)	Gruesa y masiva	Alta	Lenta	Bajo
Baja (valle)	Moderadamente fina	Media	Media	Moderado, depende de precipitaciones
Costera (Cordillera de la Costa y plataforma de abrasión)	Franca y gruesa	Media-alta	Media-lenta	Moderado-bajo

Fuente: DGA (2004).

#### 2.1.4 Hidrología

A continuación, se presentan los aspectos hidrológicos de la cuenca del río Lluta, entre los que se cuentan las características hidrográficas y morfológicas, la hidrometeorología y la fluiometría.

#### **Características hidrográficas y morfológicas**

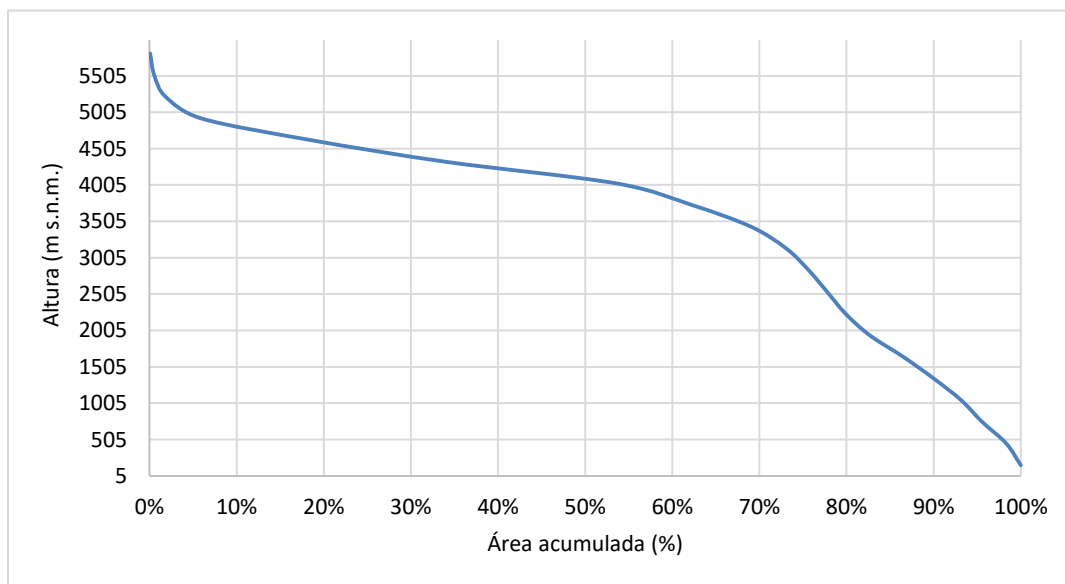
La cuenca del río Lluta limita al norte con la cuenca de la quebrada La Concordia y la frontera con Perú, al este con la cuenca del río Uchusuma y Caquena, al sur con la cuenca del río San José y al oeste con el océano Pacífico (DGA, 2016).

De acuerdo a la delimitación actualizada presentada al comienzo de este capítulo, el área de la cuenca es de 3.415 km<sup>2</sup>, la cual está dividida en dos subcuencas, la subcuenca del río Lluta Alto con una superficie aproximada de 2.251 km<sup>2</sup> y la subcuenca del río Lluta Bajo de aproximadamente 1.164 km<sup>2</sup>.

El río Lluta nace de la confluencia de los ríos Azufre y Caracarani en Humapalca, siendo sus tributarios más importantes el río Colpitas, las quebradas Allane, Socoroma, Putre

(Jurase), Aroma, Cascavillane, Teleschuño, Guancarane y Chuquiananta. Tiene una longitud de 150 km aproximadamente, presentando una dirección norte-sur hasta el sector Socoroma al llegar a la junta con la quebrada Jurase, donde cambia de dirección a este-oeste.

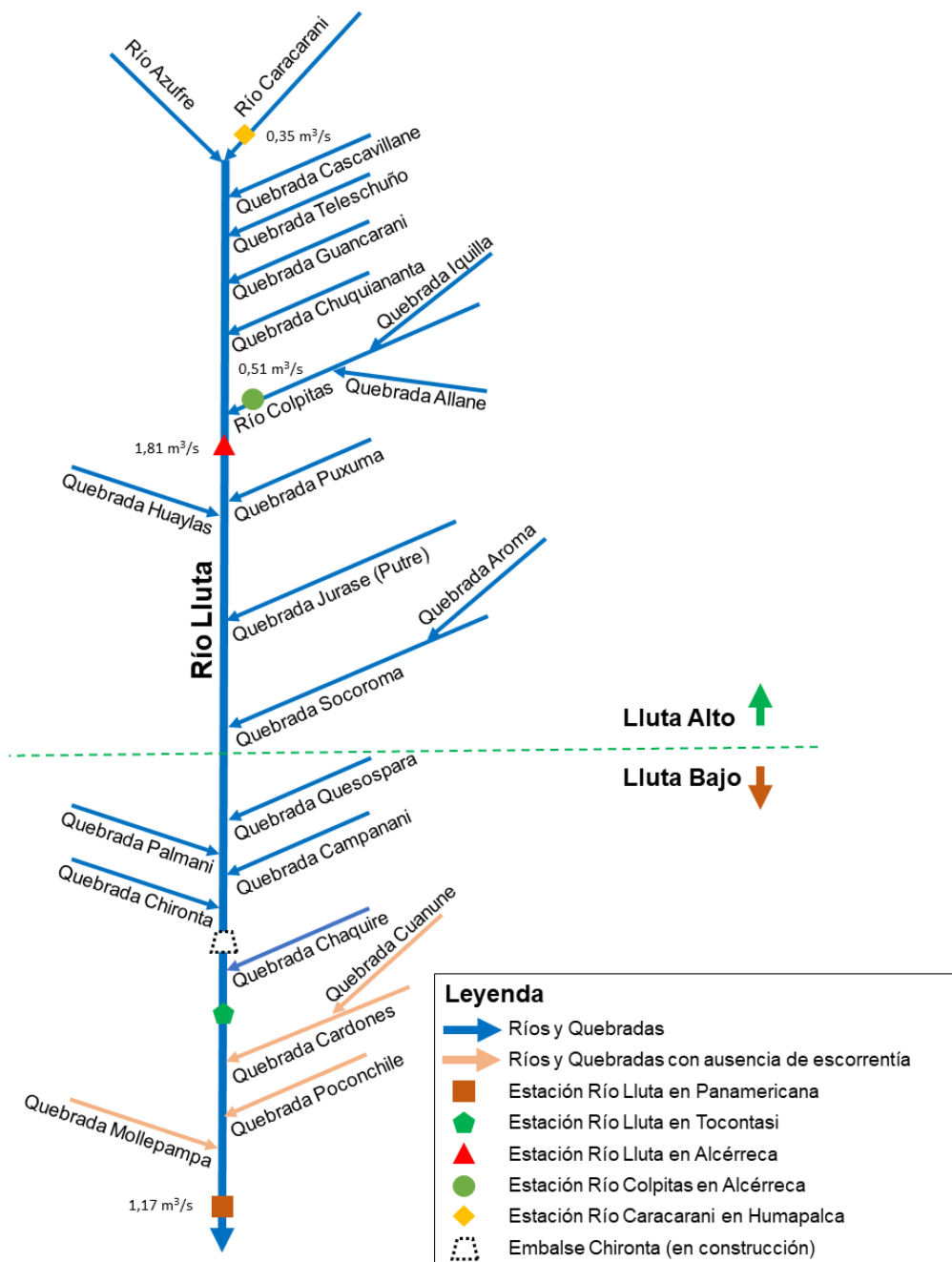
La morfología de la cuenca en cuanto a parámetros como la forma, el relieve y la red de drenaje fueron estimados en el estudio DGA (2016) y fueron calculados mediante uso de SIG y expresiones matemáticas. En relación a la forma, la cuenca tiene un coeficiente de compacidad ( $K_G$ ) de 1,94, lo que corresponde a una cuenca de forma rectangular. Este coeficiente se relaciona con la tendencia a concentrar volúmenes de agua de escurrimiento, siendo este mayor para valores de coeficientes cercanos a 1, lo que no corresponde a la cuenca en estudio. La densidad de drenaje definida como la longitud total de los cauces sobre el área de la cuenca es de 0,27 km/km<sup>2</sup>, correspondiente a la densidad de drenaje promedio de la cuenca y representa un drenaje pobre asociado normalmente a cuencas con materiales de suelo resistentes a la erosión, muy permeables y de baja pendiente. La curva hipsométrica de la cuenca (Figura 2.5) se obtuvo mediante la reclasificación de las bandas del DEM y del cálculo de las áreas acumuladas intermedias, cuyo resultado entregó una topografía variable con cotas que varían entre los 4 y 5.960 m s.n.m., y con un 50% del área de la cuenca con una altura superior a los 4.000 m s.n.m. La curva hipsométrica se clasifica de tipo B lo que corresponde a una cuenca en equilibrio que está en fase de madurez. La particularidad de esta cuenca a nivel regional, siendo la única que se desarrolla completamente desde la Cordillera de Los Andes hasta su desembocadura al mar, se refleja en la gran variabilidad de alturas presentada en la curva hipsométrica, y es lo que finalmente le confiere al río un escurrimiento de carácter permanente.



Fuente: DGA (2016).

**Figura 2.5 Curva hipsométrica de la cuenca del río Lluta.**

El río Lluta tiene un escurrimiento permanente y régimen de alimentación mixto, recibiendo aportes de los deshielos, lluvias de verano y vertientes tanto de afluentes naturales y de canales. El diagrama unifilar del río que se presenta en la Figura 2.6, incluye los ríos y las quebradas aportantes de mayor interés, así como también hace referencia al caudal medio anual medido en las estaciones fluviométricas administradas por la DGA.



Fuente: elaboración propia en base a DGA (2016).

**Figura 2.6 Diagrama unifilar del río Lluta.**

## Hidrometeorología

En la cuenca del río Lluta, la red hidrométrica de la DGA está conformada por 12 estaciones meteorológicas, de las cuales actualmente hay 8 estaciones que aparecen indicadas como vigentes y 4 como suspendidas. Las estaciones están distribuidas por toda la cuenca, situadas desde altitudes del orden de los 300 m s.n.m. hasta los 4.200 m s.n.m. (Tabla 2.39 y Figura 2.50 en sección Infraestructura). La información disponible en las estaciones se detalla en la Tabla 2.3, mientras que mayores antecedentes respecto al tratamiento de la información se incluyen en la sección 3.2.1 del Anexo F.

**Tabla 2.3 Disponibilidad de información en las estaciones pluviométricas**

No	Nombre Estación	1985 - 1989				1990 - 1999				2000 - 2009				2010 - 2019			
1	Pacollo	12	12	12	12	10	12	12	12	12	12	12	5				
2	Las Cuevas Conaf	11	12	1													
3	Lluta	12	12	5	5	0	3	4	12								
4	Villa Industrial (Tacora)	12	12	12	12	12	12	12	12	9	12	9	12	11	12	12	12
5	Humapalca	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	11	12	12	12	12
6	Río Lluta en Alcerreca									1	12	12	2	12	12	12	12
7	Alcerreca	12	12	12	12	12	12	12	12	10	11	12	12	11	12	12	12
8	Putre	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	10	9
9	Putre-DCP									1	12	12	12	11	12	12	9
10	Meteorológica de Colpitas																10
11	Río Caracarani en Humapalca													7	10	9	11
12	Quebrada Socoroma																0

	De 10 a 12 meses
	De 6 a 9 meses
	De 1 a 5 meses

Fuente: elaboración propia, actualizado de DGA (2016), basado en información del SNIA, DGA.

Por otra parte, se cuenta con series temporales de precipitación obtenidas desde el producto CR2MET (Boisier et al., 2018) , conjunto de datos climáticos que ya ha sido utilizado en la Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a). La última versión disponible (versión 2) abarca el período 1979-2019 a escala diaria<sup>1</sup>. El producto de precipitación de CR2MET v2 cubren todo el territorio nacional con una resolución espacial de 0,05° (~5 km). Mayores detalles con respecto a este producto, se incluyen en la sección 5.1.3.3 del Anexo H.

En la Figura 2.8 se presenta la distribución espacial de las precipitaciones, donde se observa que las precipitaciones medias anuales entre 1979 y 2019 entregan valores cercanos a cero en la desembocadura, y superan los 380 mm en las zonas de mayor altura. Estos valores son coincidentes con las isoyetas presentadas por el estudio DGA (2016), en el cual, utilizando datos de estaciones meteorológicas entre 1985 y 2015 ese

<sup>1</sup> Datos Productos Grillados CR2MET v2 [en línea] <http://www.cr2.cl/datos-productos-grillados/> (visitado por última vez el 30/04/2021)

estima una precipitación media en la cuenca de 190 mm, con una variación entre 0 mm y 400 mm (ver sección 3.2 del Anexo J).

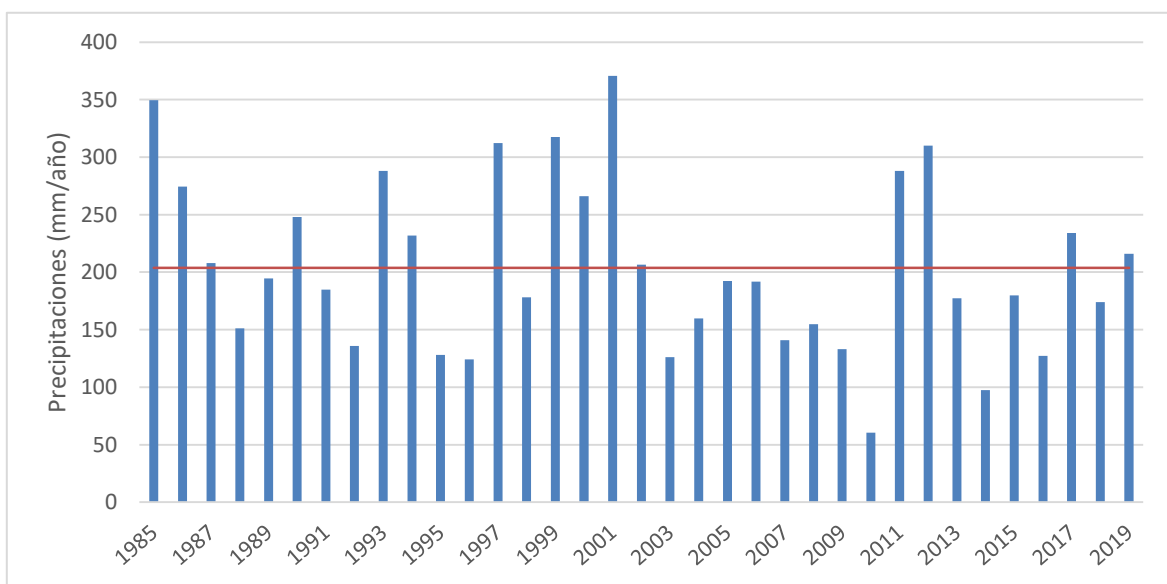
Como parte del desarrollo del proceso de modelación hidrológica se identificó la necesidad de corregir el producto CR2METv2, buscando una mejor representación de los eventos en la zona. La metodología aplicada se explica en detalle en la sección 5.2.1 del Anexo H. A partir de esta corrección se estima una precipitación en la cuenca de 204 mm/año.

### ***Precipitación Media Anual y Media Mensual***

El análisis de la precipitación media anual y mensual fue realizado a partir de las series corregidas de CR2METv2 a nivel de cuenca, y adicionalmente a partir de los datos de cinco estaciones vigentes de las cuales se tiene registro continuo hasta la fecha, se excluyó de este análisis la estación Río Caracarani en Humapalca por tener sólo 7 años de registro a la fecha. Se tomaron los registros de 35 años (1985-2019).

#### Precipitación media anual

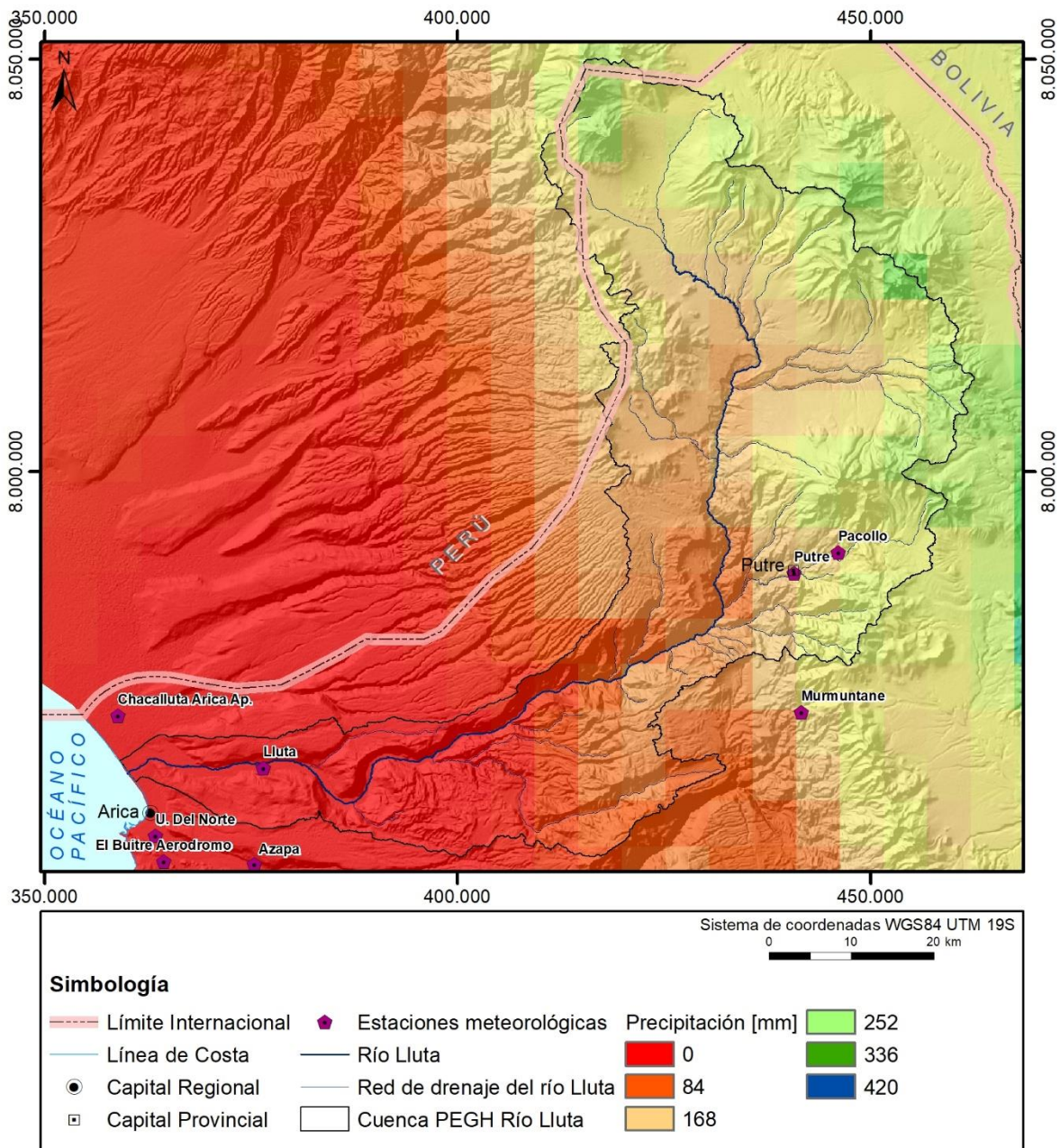
La precipitación media anual para la cuenca del río Lluta, varía entre 60 y 371 mm/año, de acuerdo a los valores estimados a partir del producto CR2MET v2 corregido (Figura 2.7).



**Figura 2.7 Precipitación anual Cuenca Río Lluta, estimado a partir de producto CR2MET v2 corregido.**

Por otra parte, en la Tabla 2.4 se presenta un análisis de las precipitaciones en 5 estaciones de la cuenca, para el periodo 1985-2019. Los valores de precipitación en dichas estaciones varían entre 143 mm (Est. Río Lluta en Alcérreca) y 337 mm al año (Est. Humapalca). Además, se incorpora un análisis de las precipitaciones diferenciando el periodo estival (diciembre a marzo), del resto del año (abril a noviembre). Los resultados

muestran que la precipitación media anual de la cuenca se presenta en un periodo lluvioso de diciembre a marzo, en el cual ocurre más del 90% de la precipitación anual, y un periodo seco entre abril y noviembre, con precipitaciones esporádicas. Este régimen de precipitaciones es característico de las regiones del norte de Chile, como la región de Arica y Parinacota, en las cuales las precipitaciones se concentran en la temporada estival producto del denominado "Invierno Altiplánico".



Fuente: elaboración propia en base a antecedentes CR2MET.

**Figura 2.8 Precipitación media anual (mm) en Cuenca del Río Lluta, obtenida mediante análisis de producto CR2MET v2.**

**Tabla 2.4 Precipitación media anual en estaciones de la cuenca del río Lluta, periodo 1985 a 2019.**

Estación pluviométrica DGA	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL PERIODO 1985-2019				
	DIC-MAR		ABR-NOV		TOTAL
	Pp (mm)	Pp (%)	Pp (mm)	Pp (%)	Pp (mm)
Villa industrial (Tacora)	181	92%	16	8%	197
Humapalca	312	93%	25	7%	337
Alcérreca	250	88%	34	12%	284
Putre	189	93%	14	7%	203
Río Lluta en Alcérreca	130	91%	13	9%	143

Fuente: elaboración propia.

Precipitación media mensual

Las precipitaciones medias mensuales representan el año hidrológico medio y mediante su análisis se determinó la estacionalidad existente en la cuenca. Los resultados obtenidos concuerdan con lo presentado anteriormente mostrando una marcada estacionalidad con meses húmedos (diciembre, enero, febrero y marzo) y meses con precipitaciones esporádicas o nulas (entre abril y noviembre). Las lluvias se concentran en los meses de enero y febrero principalmente (entre 50 y 60 mm). En la Tabla 2.5 y en la Figura 2.9 se presentan los valores mensuales de precipitación. Adicionalmente, en la Tabla 2.6 se presentan las precipitaciones medias mensuales en las estaciones de la cuenca, destacando que todas estas estaciones se ubican en la parte alta de la cuenca, zona en que se registran las mayores precipitaciones.

**Tabla 2.5 Precipitación media mensual en la cuenca del río Lluta, periodo 1985 a 2019.**

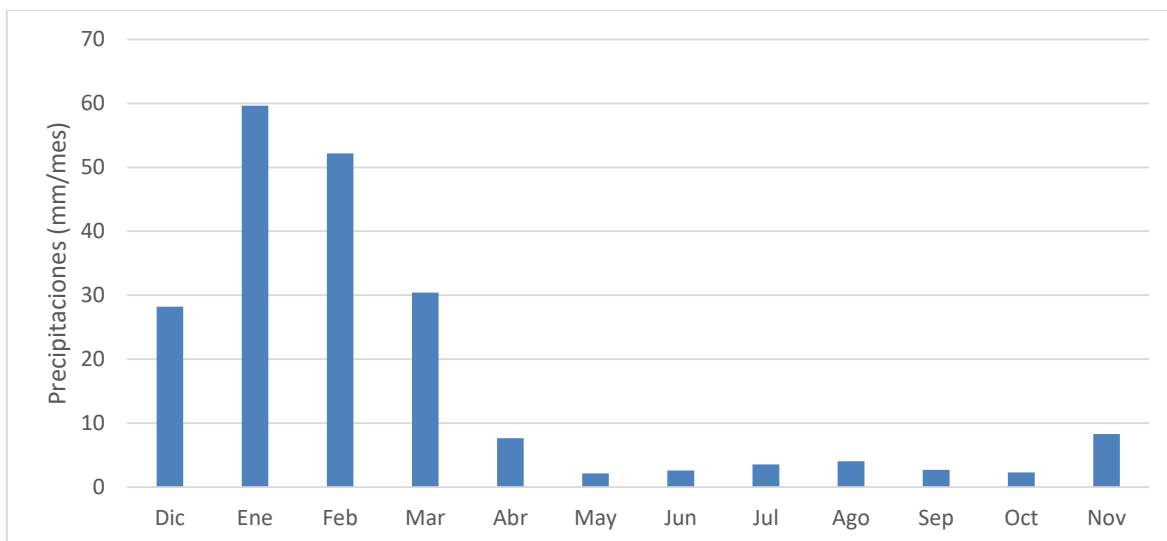
Precipitación media mensual (mm) periodo 1985-2019												
DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	ANUAL
28,2	59,6	52,2	30,4	7,7	2,2	2,6	3,6	4,1	2,7	2,3	8,3	204

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 2.6 Precipitación media mensual en estaciones de la cuenca del río Lluta, periodo 1985 a 2019.**

Estación DGA	Altitud (m s.n.m.)	Precipitación media mensual (mm) periodo 1985-2019												
		DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	ANUAL
ALCÉRRECA	3.990	18,9	69,5	56,1	36,4	5,1	0,8	2,3	3,1	2,6	0,4	0,4	1,7	197,4
HUMAPALCA	3.980	31,8	109,7	107,3	63,0	6,4	1,3	3,5	4,3	1,6	1,1	1,3	5,4	336,6
VILLA INDUSTRIAL	4.080	32,6	87,7	80,8	49,1	8,3	1,6	2,7	4,8	3,8	3,6	4,8	4,5	284,2
PUTRE DCP	3.560	18,8	65,5	70,8	34,6	3,5	1,4	1,5	2,4	1,7	1,3	0,4	1,4	203,5
RÍO LLUTA EN ALCÉRRECA	3.550	11,6	52,9	40,5	25,1	7,0	0,7	0,5	2,4	0,6	0,0	0,8	0,9	143,0

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.9 Variación mensual de la precipitación en la cuenca del río Lluta, periodo 1985 a 2019.**

### ***Evaporación y Evapotranspiración***

DGA (2016) realizó un análisis de evapotranspiración de la Región de Arica y Parinacota, en la cual se utilizó la información de 12 estaciones meteorológicas de la DGA (Tabla 2.7), 8 de ellas ubicadas en la Región de Arica y Parinacota y las 4 restantes, en la Región de Tarapacá. Cada estación contó con una serie temporal diferente de las variables climáticas evaporación, temperatura, humedad relativa y radiación solar con un mínimo de 2 años hasta un máximo de 35 años, además de presentar registros con datos mensuales faltantes.

Con la información de estas variables más los registros de precipitación, fue posible estimar la evapotranspiración mediante el método de Turc, a lo cual se le sumó la información de los principales cultivos y usos de suelo de la región. De las estaciones de la cuenca del río Lluta, sólo la estación Putre formó parte de este análisis.

### **Evaporación y Temperatura media anual**

La tasa de evaporación potencial media anual estimada por DGA (2016) para la región fue de 5,2 mm/d, con un rango entre 4 mm/d y 7 mm/d. Esta tasa fue obtenida relacionando la evaporación media anual del registro histórico de cada estación meteorológica con la altitud, de lo cual se observó una cierta correlación entre las componentes considerando que la evaporación no es solo función de la altura, sino que también lo es del viento.

**Tabla 2.7 Coordenadas y periodo de información de las estaciones con medición de evaporación de tanque tipo A en la región de Arica y Parinacota.**

Estación Meteorológica DGA	ID	Código BNA	DATUM WGS84 H19S		Altitud (m s.n.m.)	Periodo	Años	Estado del Tanque
			UTM Este	UTM Norte				
PUTRE	13	01202010-4	440.754	7.987.689	3.545	1982-2009	27	Vigente
AZAPA	20	01310019-5	375.384	7.952.366	365	1980-2014	34	Vigente
AERÓDROMO EL BUITRE	21	01310022-5	364.443	7.952.691	110	1986-2012	26	Vigente
CODPA	17	01410012-1	421.626	7.917.572	1.870	1980-2014	34	Vigente
CAQUENA	4	01001005-5	478.658	8.003.810	4.400	1981-1990	9	Suspendida
PARINACOTA EX ENDESA	6	01020017-2	471.626	7.987.205	4.420	1985-1997	12	Suspendida
CHUNGARA AJATA	1	01010010-0	480.618	7.983.774	4.585	1984-2011	27	Vigente
COTACOTANI	5	01020014-8	475.323	7.989.490	4.500	1960-1989	29	Suspendida
COYACAGUA *	29	01050007-9	517.429	7.782.949	3.990	1964-2006	42	Vigente
PAMPA LIRIMA LAGUNILLA *	30	01730018-0	515.706	7.805.083	3.940	1982-2006	24	Vigente
HUARA EN FUERTE BAQUEDANO *	31	01700010-1	421.599	7.775.403	1.000	1994-2006	12	Vigente
CERRO COLORADO *	32	01740002-9	479.082	7.784.789	2.630	1993-2002	9	Vigente

\* Estación ubicada en la I Región de Tarapacá.

Fuente: DGA (2016).

Del mismo modo, fue estimada la variación de la temperatura media absoluta en relación a la altura, observándose una marcada influencia del océano en la temperatura hasta una altitud de 500 m s.n.m. y, por sobre los 1.800 m s.n.m. una influencia continental con una marcada disminución de la temperatura al aumentar la altitud con un gradiente de 0,59°C cada 100 m.

DGA (2016) realiza el análisis de la distribución espacial de la evaporación media anual en la región mediante el trazado de isolíneas en base a la tasa de evaporación media anual (mm/d), utilizando métodos de interpolación espacial del programa ArcMap 10.2 y realizando una corrección en base a la isoterma de temperaturas regionales de la DGA (1987) y DGA (2008a), además de las franjas climáticas de Köppen.

En la Figura 2.10 se presenta el mapa de isolíneas de la tasa de evaporación media anual de la Región de Arica y Parinacota, en la cual se destaca la cuenca del río Lluta. En esta se observa que la tasa de evaporación en la cuenca varía aproximadamente entre más de 6,5 mm/d en la zona costera, hasta aproximadamente 5 mm/d en el límite oriental de la cuenca. En el caso de la estación Putre localizada a una altitud de 3.545 m s.n.m. en la cuenca del río Lluta, alcanza anualmente los 1.964 mm equivalentes a una tasa de evaporación media anual de 5,5 mm/d. Las pérdidas de agua por evaporación en la cuenca son altas y se registran en el sector bajo del valle del río Lluta y en los humedales del sector alto de la cuenca.



Fuente: DGA (2016).

**Figura 2.10** Mapa de isólinas de la tasa de evaporación media anual en la Región de Arica y Parinacota y ubicación de las 12 estaciones con Tanque Evaporímetro.

Evaporación y Temperatura media mensual

De acuerdo con los registros utilizados para el análisis de la evaporación potencial media mensual en la región presentados por DGA (2016), se puede observar la variación estacional de la evaporación en algunas estaciones y un comportamiento más bien uniforme en otras, dependiendo de la ubicación espacial de cada una (Tabla 2.8). En la Figura 2.11 se presenta la variación mensual de las temperaturas en las estaciones, fuertemente relacionados a los valores de evaporación registrados.

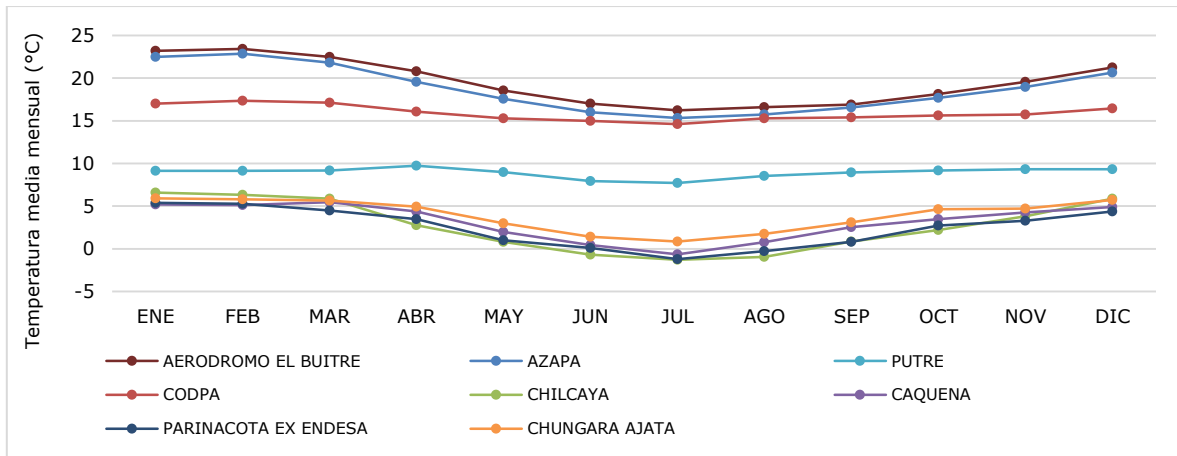
**Tabla 2.8 Evaporación media mensual de tanque tipo A en la región de Arica y Parinacota.**

Estación	EVAPORACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)												Evap. Prom. (mm/d)
	ENE	FEB	MA R	ABR	MA Y	JUN	JUL	AG O	SEP	OCT	NO V	DIC	
PUTRE	145	129	151	169	157	150	153	170	179	201	190	170	5,5
AZAPA	293	257	255	202	181	154	153	166	186	224	238	263	7,1
AERÓDROMO EL BUITRE	264	243	243	196	167	130	129	139	158	192	213	248	6,5
CODPA	169	140	147	122	109	94	104	127	150	177	180	182	4,7
CHUNGARA AJATA	85	86	105	124	120	106	103	115	136	154	156	140	4,0
CAQUENA	127	122	122	116	128	93	102	122	144	155	168	166	4,3
PARINACOTA EX ENDESA	134	128	132	142	125	121	119	136	147	172	162	154	4,6
COTACOTANI	129	117	129	158	161	147	153	166	183	214	213	184	5,4
COYACAGUA	197	175	194	185	153	127	134	155	188	228	241	241	6,2
PAMPA LIRIMA LAGUNILLA	182	161	187	159	141	103	105	136	168	218	224	221	5,6
HUARA EN FUERTE BAQUEDANO	229	287	310	297	261	251	249	228	250	290	311	253	8,9
CERRO COLORADO	211	181	189	196	212	207	212	234	252	270	272	263	7,0

Fuente: DGA (2016).

El análisis indica que, a nivel regional, existen dos factores moderadores del gradiente térmico:

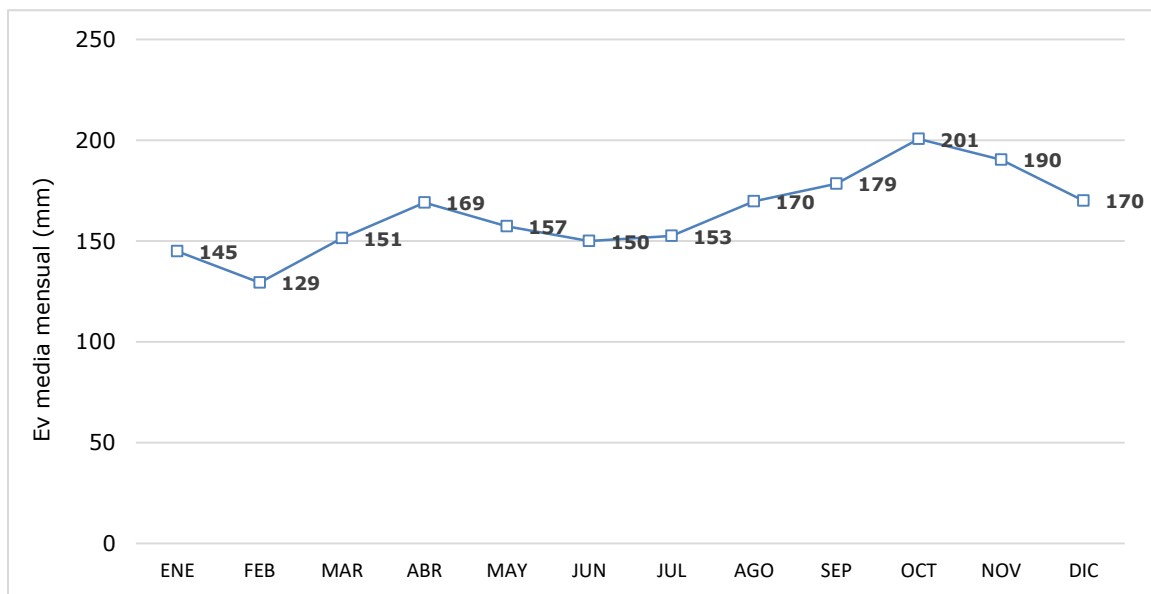
- Orográfico dado por la Cordillera de Los Andes, con el cual se observa una similitud en los registros durante el año para las estaciones situadas en el altiplano y/o a mayor altitud
- Oceánico y las corrientes de Humboldt en la zona costera y valles, mostrando diferencias significativas entre los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, en relación a los otros de los meses del año, con un mismo patrón entre el gradiente térmico y evaporación.



Fuente: DGA (2016).

**Figura 2.11 Temperatura media mensual absoluta reportada en las estaciones meteorológicas.**

Para el caso de la evaporación media mensual en la estación Putre, se observa una variación entre 130 mm en el mes de febrero hasta 200 mm en el mes de octubre (Figura 2.12 )



Fuente: DGA (2016).

**Figura 2.12 Evaporación media mensual potencial en Estación Putre – Tanque Tipo A (3.545 m s.n.m.).**

Evapotranspiración media anual

La evapotranspiración media anual para la mayor parte del territorio de la cuenca del río Lluta, equivale al 100% de la precipitación, a excepción de lo registrado por estaciones a altitudes cercanas a los 4.500 m s.n.m. (Caquena y Cotacotani), en las cuales equivale

al 88% de la precipitación media anual (DGA, 2016). Esta estimación fue realizada utilizando el método de Turc, definido por la siguiente fórmula:

$$ETP \text{ (mm/año)} = \frac{P}{\sqrt{0,9 + P^2/L^2}}$$

$$L = 300 + 25 * T + 0,05 * T^3$$

Donde,

P es la precipitación en mm/año

T es la temperatura media anual °C

Para aplicar este método se debe cumplir que  $\frac{P^2}{L^2} \geq 1$ , en caso contrario se considera que ETP=P.

Los cálculos de evapotranspiración obtenidos mediante el método de Turc para las estaciones de la cuenca del río Lluta varían entre 188 y 278 mm/año (Tabla 2.9).

**Tabla 2.9 Valores estimados de la evapotranspiración en estaciones de la cuenca del Río Lluta.**

Est. Meteorológica DGA	Altitud (m s.n.m.)	Pp	T	Precipitación media anual (mm/año)	Temperatura media anual (°C)	ETP (mm/año) estimación método Turc
VILLA INDUSTRIAL (TACORA)	4.080	x		294,8	5,2*	253,2
HUMAPALCA	3.980	x		333,0	5,8*	277,8
ALCÉRRECA	3.990	x		218,3	5,7*	205,1
PUTRE	3.545	x	x	190,2	8,9	188,7

\* Valor estimado a partir de la relación obtenida de la temperatura y la altitud en la Región.

Fuente: DGA (2016).

Por otra parte, DGA (2016) estimó la evapotranspiración de la cuenca utilizando información satelital remota MODIS 16 y utilizando como método de cálculo la ecuación de Penman Monteith, lo cual entregó un valor medio anual de 228,5 mm/año considerando datos entre el 2000 y 2014. Este valor se encuentra dentro del rango estimado mediante el método de Turc.

### **Fluviometría**

La cuenca del río Lluta cuenta con una red de monitoreo de 12 estaciones fluviométricas administradas por la DGA, de las cuales 8 aparecen como vigentes, sin embargo, sólo 5 se encuentran actualmente activas. Las coordenadas y periodos de funcionamiento de las estaciones se presentan en la Tabla 2.40 y se muestran en la Figura 2.51, en la sección de Infraestructura. En la Tabla 2.10 se presenta la disponibilidad de información

de las estaciones que han presentado registro para el periodo entre los años 1985 y 2019, y mayores antecedentes con respecto al tratamiento de los datos se incluyen en la sección 3.2.2 del Anexo F.

**Tabla 2.10 Disponibilidad de información en estaciones fluviométricas de la cuenca del río Lluta.**

No	Nombre Estación	1985 - 1989				1990 - 1999				2000 - 2009				2010 - 2019			
1	Río Caracarani en Humapalca	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
2	Río Colpitas en Alcerreca	11	12	11	12	11	11	5	7	10	12	10	11	10	10	6	11
3	Río Lluta en Alcerreca	8	12	11	12	12	10	8	9	12	12	12	11	10	10	3	0
4	Río Lluta en Chapisca			4	12	9	12	8	7	1	6	12					
5	Río Lluta en Tocontasi	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	11
6	Río Lluta en Panamericana	10	7	8	1	12	9	11	8	11	8	9	5	12	12	5	11
7	Río Lluta en Puente Viejo	10	12	12	10	0	0	0	0	3	4	3	5				

	De 10 a 12 meses
	De 6 a 9 meses
	De 1 a 5 meses

Fuente: actualizado de DGA (2016).

El análisis de los datos entregó que la cantidad de datos disponible en la estación Río Lluta en Tocontasi es inferior al 25% (Tabla 2.11). Esto, en conjunto con otros antecedentes presentados en la sección 5.1.3.5 del Anexo H, llevó a descartar el uso de sus datos en la calibración del modelo hidrológico a desarrollar.

**Tabla 2.11 Datos disponibles (%) en estaciones vigentes DGA con mediciones de caudales en la cuenca del Río Lluta.**

Nombre	Código BNA	Altitud (m s.n.m.)	Datos entre 1985-2019
RÍO CARACARANI EN HUMAPALCA	01201005-2	3.908	>95%
RÍO COLPITAS EN ALCÉRRECA	01201001-K	3.251	>80%
RÍO LLUTA EN ALCÉRRECA	01201003-6	3.550	>75%
RÍO LLUTA EN TOCONTASI (*)	01210001-9	1.850	<25% (*)
RÍO LLUTA EN PANAMERICANA	01211001-4	10	>70%

(\*) Estación no considerada en la calibración del modelo hidrológico.

Fuente: elaboración propia.

### Caudal medio anual

De acuerdo a las estimaciones realizadas (Tabla 2.12), los caudales medios anuales promedios medidos en las estaciones de la cuenca para el periodo 1985-2019, incrementan progresivamente desde los 0,35 m<sup>3</sup>/s en la estación río Caracarani en Humapalca en la parte alta de la cuenca (3.908 m s.n.m.), hasta un caudal de 1,81 m<sup>3</sup>/s en la estación Río Lluta en Alcérreca a una altitud de 3.251 m s.n.m. Además, de acuerdo a lo estimado por DGA (2016), el caudal medio anual de la estación Río Lluta en Tocontasi, ubicada a de 1.850 m s.n.m., alcanza un valor de 3,24 m<sup>3</sup>/s. Esta estación controlaría el 75% de la cuenca de drenaje y registra prácticamente el caudal total de la cuenca (DGA, 2010). Esto concuerda con las áreas aportantes a cada estación las cuales

van aumentando, siguiendo el recorrido del cauce principal. Desde esta última estación hasta la estación Río Lluta en Panamericana (10 m s.n.m.), ubicada prácticamente en la desembocadura del río al Océano, el caudal promedio anual desciende considerablemente hasta 1,17 m<sup>3</sup>/s lo que podría considerarse que en este tramo existirían alrededor de 2 m<sup>3</sup>/s de pérdidas por infiltración al acuífero y por las extracciones del recurso hídrico. La fracción del caudal del río que se infiltra al acuífero del Lluta Bajo pasaría a formar parte de la oferta subterránea.

Por otra parte, según el estudio de ESSAT (1998a), donde se caracterizan los recursos superficiales disponibles a partir de un análisis hidrológico de los cauces en la estación río Lluta en Chapisca (estación descontinuada, pero que se ubicaba próxima a la estación Río Lluta en Tocontasi), el caudal medio anual del río Lluta es 1,5 m<sup>3</sup>/s para un año con probabilidad de excedencia del 85% mientras que, para una probabilidad de excedencia del 50% el caudal medio anual es 2,0 m<sup>3</sup>/s.

Adicionalmente, se observa una mayor variabilidad entre los caudales anuales mínimos y máximos en aquellas estaciones situadas a menor cota que las que están más cercanas a la cabecera de la cuenca, donde las precipitaciones y temperatura no varían ampliamente entre un año y otro.

Por otra parte, según DOH (2004), el caudal del río Lluta es permanente durante el año con un gasto promedio de 2 m<sup>3</sup>/s y de 2,38 m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 2.12 Caudal medio anual para el año hidrológico en la cuenca del Río Lluta, periodo 1985 - 2019.**

Estación fluviométrica	Altitud (m s.n.m.)	Caudal medio anual (m <sup>3</sup> /s)			
		Min	Max	Prom	Desv Est
RÍO CARACARANI EN HUMAPALCA	3.908	0,22	0,69	0,35	0,09
RÍO COLPITAS EN ALCÉRRECA	3.251	0,35	0,82	0,51	0,12
RÍO LLUTA EN ALCÉRRECA	3.550	0,95	3,63	1,81	0,62
RÍO LLUTA EN PANAMERICANA	10	0,18	4,10	1,17	0,90

Fuente: elaboración propia.

Los rendimientos estimados según las áreas de las cuencas aportantes a cada estación varían entre 0,4 y 1,45 l/s/km<sup>2</sup>. El mayor valor al rendimiento calculado en la estación río Lluta en Alcérreca en la parte alta de la cuenca, mientras que el menor valor de 0,4 l/s/km<sup>2</sup> corresponde a la estación río Lluta en Panamericana a la salida de la cuenca. Esta variabilidad se explica tanto por una oferta natural variable en función de las precipitaciones, como por las diferencias a nivel de extracciones superficiales.

#### Caudal medio mensual

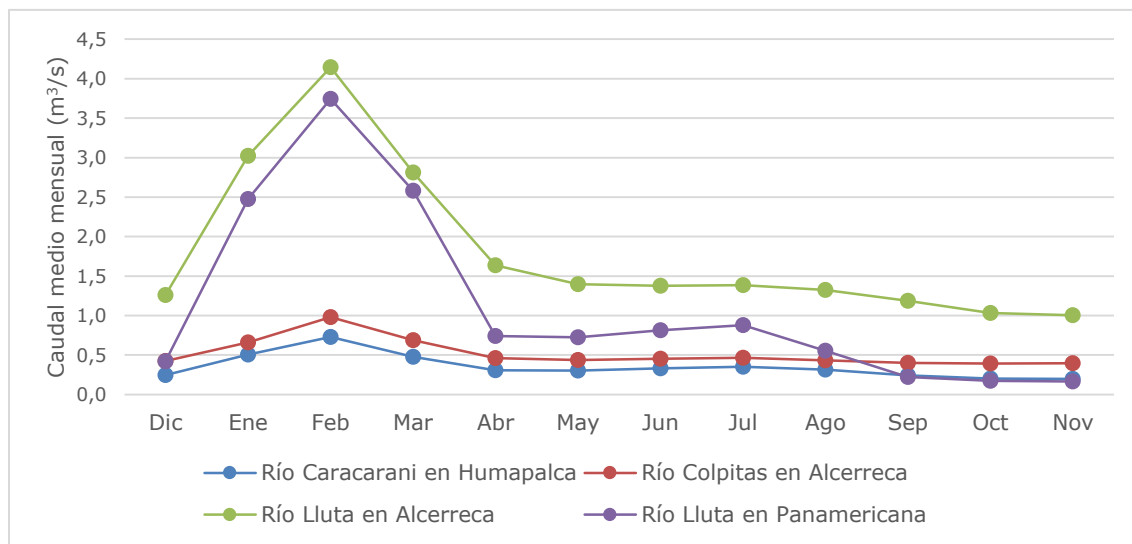
Los caudales medios mensuales en el río Lluta presentan su mayor incremento en los meses de enero, febrero y marzo (ver Tabla 2.13 y Figura 2.13), superando la media anual y alcanzando valores cercanos a 4 m<sup>3</sup>/s en la estación río Lluta en Alcérreca (Tabla

2.13), como respuesta al invierno altiplánico. En todas las estaciones el río muestra un flujo permanente a lo largo del año, con caudales base que bordean los 0,3 m<sup>3</sup>/s en la estación de Río Lluta en Panamericana.

**Tabla 2.13 Caudal medio mensual en la cuenca del río Lluta, periodo 1985-2019.**

Estación fluviométrica	Caudal medio mensual (m <sup>3</sup> /s)												
	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	PROM
RÍO CARACARANI EN HUMAPALCA	0,25	0,51	0,73	0,48	0,31	0,30	0,33	0,35	0,31	0,24	0,20	0,20	0,35
RÍO COLPITAS EN ALCÉRRECA	0,42	0,66	0,98	0,69	0,46	0,44	0,45	0,46	0,43	0,40	0,39	0,39	0,52
RÍO LLUTA EN ALCÉRRECA	1,26	3,02	4,14	2,81	1,64	1,40	1,38	1,39	1,33	1,19	1,03	1,01	1,80
RÍO LLUTA EN PANAMERICANA	0,42	2,48	3,74	2,58	0,74	0,72	0,81	0,88	0,56	0,22	0,17	0,16	1,12

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.13 Caudal medio mensual en el río Lluta, periodo 1985-2019.**

En términos generales, las estaciones de la cuenca presentan un mismo régimen hidrológico con pequeñas variaciones. Los caudales del río Lluta dependen muy fuertemente de las lluvias estivales altiplánicas, siendo éstas la principal causa en los aumentos de caudal durante los meses de verano. Los deshielos se manifiestan con el ligero aumento de caudal en el mes de diciembre, observado en algunas estaciones.

El estudio DGA (2016) realiza un análisis de frecuencia de las series de los caudales mensuales, utilizando las probabilidades de excedencia de 15% (año muy húmedo), 85% (año muy seco) y caudal medio, concluyendo que la quebrada Colpitas presenta el

mismo régimen pluvial que la quebrada Caracarani, pero con caudales levemente mayores debido a una mayor superficie de la cuenca y con una mayor influencia de las pequeñas precipitaciones invernales (julio) en la escorrentía para los años húmedos. Mayores antecedentes se incluyen en la sección 3.3 del Anexo J.

En los meses de enero a marzo (Invierno Altiplánico), los caudales aumentan notablemente pudiendo para un año húmedo ( $P_{exc}$  15%) llegar a ser cuatro veces mayor que el caudal que escurre durante el resto del año. Se aprecia además un leve aumento de los caudales en julio y agosto por las precipitaciones invernales, sin embargo, esto último para años normales o secos no tiene mayor significación.

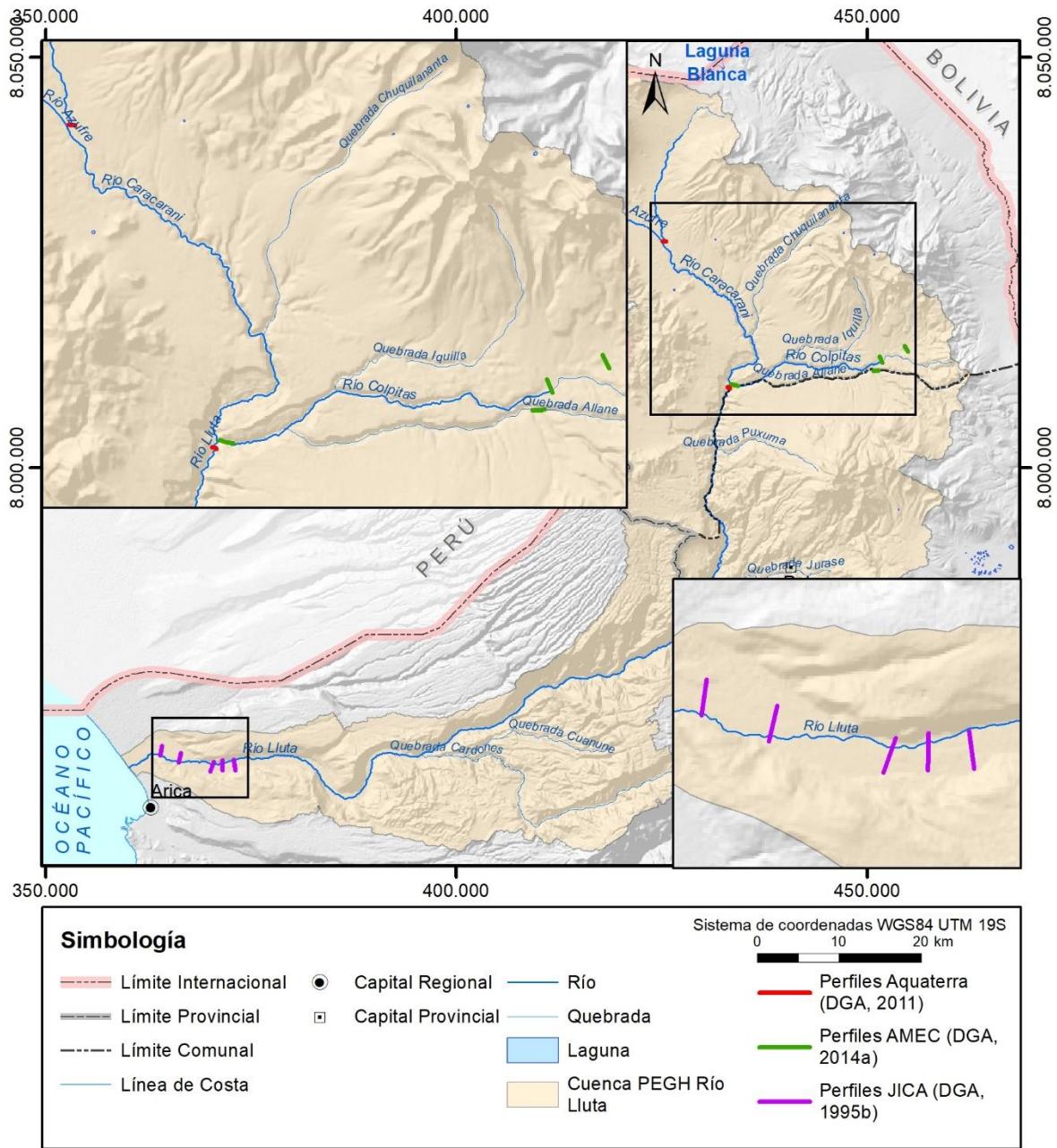
En la parte baja de la cuenca, estación Río Lluta en Panamericana, se observa la fuerte influencia que tiene la gran cantidad de bocatomas para riego con la disminución de los caudales en los meses de verano para un año húmedo y para todos los meses en años normales y secos. Mayores antecedentes de estos resultados se incluyen en la sección 3.3 del Anexo J.

Finalmente, en el estudio DGA (2016) se presenta algunos aforos realizados en el río Lluta y sus tributarios durante 4 campañas de terreno entre noviembre de 2015 y agosto de 2016, además se presenta información de los estudios anteriores de (MOP, 1968) y DGA (1995). Esta información se incluye en la sección 3.3 del Anexo J, pero ha sido considerada solo de forma referencial en el presente estudio, debido a que las series disponibles en las estaciones fluviométricas permiten una mejor representación a nivel de cuenca, y han sido por tanto las consideradas para el diagnóstico y la modelación de la cuenca.

#### **2.1.5 Hidrogeología**

El Instituto de Investigaciones Geológicas (1976) describió a nivel general las unidades acuíferas y el basamento de la cuenca, dividiendo la caracterización en las subcuencas del Río Lluta Alto y Río Lluta Bajo. En la primera de ellas, el acuífero corresponde a depósitos fluviales ubicados en las áreas inmediatas a los cursos superficiales que circulan en los cañones, ya que tales cursos constituyen los niveles bases de recarga de agua, desde Caracarani hasta la Quebrada Allane. A partir de la quebrada Huaylas, el río Lluta se encajona en rocas volcánicas de baja permeabilidad en las que no se desarrollan acuíferos. En el caso de la subcuenca del Río Lluta Bajo, se abre un valle encajonado en rocas de baja permeabilidad de las formaciones Oxaya y Azapa, el área de inundación del valle está formado por materiales de derrumbes de laderas y corriente de barro que constituyen acuíferos de baja importancia hidrogeológica (DGA, 2016).

En la cuenca, se han realizado tres estudios geofísicos cuyos resultados han permitido caracterizar la hidrogeología, dos de estos se sitúan en la subcuenca del Río Lluta Alto (DGA 2011a, 2014a), mientras que el tercero (DGA, 1995) se ubica en la subcuenca del Río Lluta Bajo. Estos estudios incluyeron perfiles de transiente electromagnético (TEM) y la ubicación de éstos se muestran en la Figura 2.14. Mayores detalles sobre sus resultados se incluyen a continuación, en la caracterización hidrogeológica de cada subcuenca.



Fuente: elaboración propia en base a antecedentes DGA (2014a, 2011a, 1995).

**Figura 2.14 Ubicación estudios geofísicos en la cuenca del Río Lluta.**

## **Caracterización hidrogeológica**

A continuación, se describen las características hidrogeológicas de las subcuencas Lluta Alto y Lluta Bajo.

### ***Subcuenca del Río Lluta Alto***

La hidrogeología de la subcuenca del río Lluta Alto, ha sido caracterizada en parte por Aquaconsult (2010), quienes realizaron un estudio de impacto ambiental (EIA) para la Minera Hemisferio Sur S.C.M, cerca de la localidad de Alcérreca. En este estudio se perforaron dos sondajes, RCLPA-1 y RCLPA-2, de los cuales se obtuvo información estratigráfica. El primero de ellos muestra un estrato de arena gruesa de 0-37 m, entre los 37 y 69 m un estrato de limo y arcilla con intercalaciones de arena fina y entre los 69 y 82 m una capa de arena gruesa. Por su parte el sondaje RCLPA-2 presenta una capa de arena gruesa de 0-56 m y un estrato de arcilla de 56 a 77 m.

Perfiles geofísicos de resistividad han sido realizados en la subcuenca del río Lluta Alto. Dos perfiles con metodología NanoTEM se realizaron en el río Caracarani en Humapalca y en el río Lluta en Alcérreca por la empresa Aquaterra el 2011 (DGA, 2016), y 4 perfiles de Tomografía Eléctrica en el río Colpitas por AMEC el 2014 (Figura 2.14). Para ver el detalle de estos perfiles, remitirse al punto 4.1 del Anexo J.

### ***Subcuenca del Río Lluta Bajo***

En términos hidrogeológicos, la subcuenca del río Lluta Bajo ha sido mayormente estudiada, contando ésta con información geofísica TEM, sondajes eléctricos verticales (SEV), gravimetría y descripciones estratigráficas de pozos y sondajes perforados (Figura 2.14). El detalle de estos perfiles, se encuentra en el punto 4.1 del Anexo J.

En esta zona se han identificado dos sistemas acuíferos ubicados en los depósitos fluviales (acuífero superior) distribuidos entre la carretera Panamericana y Rosario, y en la Formación Concordia (acuífero inferior), localizada aguas abajo de la carretera (DGA, 1995)

En el tramo medio y superior del valle del río Lluta, los depósitos fluviales alcanzarían un espesor de 200 m en los cuales se reconocen 3 unidades. Las unidades superior e inferior están conformadas por capas de gravas en una matriz de limo y arena muy fina, y la capa intermedia por una toba de baja permeabilidad. En el sector bajo del valle, la Formación Concordia se compone principalmente por depósitos marinos y alcanza un espesor de 200 m. También se divide en 3 unidades, la unidad inferior y la superior está compuesta de arenas no consolidadas y la unidad media constituida por cenizas volcánicas.

La recarga del río Lluta a los acuíferos superior e inferior se sectoriza de acuerdo con la presencia de la capa de toba que separa los dos acuíferos. Aguas arriba de la localidad de Chacabuco, no habría presencia de tobas por lo que el río Lluta recargaría al acuífero inferior, mientras que aguas abajo de esta localidad, aparecería la toba confinante del

acuífero inferior por lo que la recarga la recibiría sólo el acuífero superior. El basamento de la parte baja de la cuenca estaría conformado por las rocas de las formaciones Azapa, Oxaya y El Diablo.

### **Unidades Hidrogeológicas**

Las unidades hidrogeológicas han sido redefinidas a partir de la definición realizada por DGA (2016) y complementada según la metodología de SERNAGEOMIN (2016). Se definen nueve unidades hidrogeológicas para la cuenca del Río Lluta, en base a la información de los antecedentes disponibles, mapa geológico 1:250.000 (SERNAGEOMIN, 2004) y el Mapa Hidrogeológico de Chile escala 1:1.000.000 (DGA, 1989).

La unidad de mayor importancia hidrogeológica está asociada a los depósitos aluviales y fluviales del Holoceno. La recarga principal se produce por la infiltración de las precipitaciones en la subcuenca del Lluta Alto, mientras que en la subcuenca del río Lluta Bajo el acuífero se recarga por el aporte del río Lluta al acuífero, principalmente por las crecidas del cauce durante el invierno altiplánico, y por la infiltración de las aguas de riego en los campos de cultivo.

### ***Unidades Hidrogeológicas de Alto Potencial Relativo en Depósitos no Consolidados y Rocas***

- **Unidad Hidrogeológica A1:** está compuesta por arenas y gravas con baja consolidación que conforman depósitos activos y recientes, se asocia con la unidad litológica de Sedimentos clásticos (MHc). Incluye depósitos de piedemonte, coluviales, aluviales, de remociones en masa, glaciales y eólicos. En el sector de Lluta Alto, su extensión es limitada al entorno de los ríos, quebradas y bofedales, su espesor máximo no supera los 10-15 m de profundidad y se encuentran compuestos principalmente por arenas con matriz de arena fina, ripios y gravas, arenas y limos semiconsolidados. En el sector del Lluta bajo, los depósitos tienen entre 20 y 200 m de espesor y se componen de arenas y gravas no consolidadas. Presenta localmente capa de tobas que divide esta unidad acuífera en una acuífero confinado inferior y acuífero libre superior (DGA, 1995). Esta unidad forma acuíferos en medio intergranular, libres a semiconfinados, y de una alta importancia hidrogeológica debido a su alta permeabilidad, continuidad areal y espesor en el sector de Lluta Bajo.
- **Unidad Hidrogeológica A2:** la componen principalmente areniscas medias a gruesas, areniscas conglomerádicas y conglomerados, polimícticos y monomícticos, semi a bien consolidados. Corresponde a la unidad litológica de Depósitos sedimentarios clásticos con intercalaciones volcánicas del Oligoceno al Mioceno (OMsv). Esta unidad cuenta con una importante permeabilidad primaria que le permite el almacenamiento y transmisión de agua. Forma acuíferos libres y principalmente semiconfinados a confinados. Se considera como una unidad de potencial relativo elevado, por su extensión areal y espesor.

- **Unidad Hidrogeológica A3:** compuesta por depósitos sedimentarios evaporíticos y detríticos pertenecientes a la unidad litológica Depósitos salinos con intercalaciones clásticas (PIHsc), reconociéndose en superficie por la presencia de costras salinas. Se localizan al noreste de la localidad de Chislluma, en el límite internacional con Perú. Esta unidad forma acuíferos en medio intergranular, libres a semiconfinados, dependiendo de la proporción de sedimentos finos y la continuidad lateral de éstos, lo que le confiere transmisividades bajas puntuales.
- **Unidad Hidrogeológica A4:** constituida por los complejos volcánicos del Mioceno al Reciente y sus productos volcánicos, asociada a la unidad litológica Rocas volcánicas (MHrv). Se desarrollan en la zona nororiental de la precordillera. Esta unidad tiene bajo potencial relativo. Se le asocia una baja a nula permeabilidad primaria, en general estas rocas son consideradas como impermeables, pudiendo albergar agua en sus fracturas siendo el movimiento de esta dependiente de la interconexión que tengan las estructuras que afectan la unidad. Esta unidad puede formar acuífugos y acuícludos en roca fracturada o incluso originar acuíferos colgados y/o recargar a otras unidades hidrogeológicas, con lo que su importancia hidrogeológica se considera media-alta.

#### ***Unidades Hidrogeológicas de Moderado Potencial Relativo en Depósitos no Consolidados***

- **Unidad Hidrogeológica B1:** unidad compuesta por ripios y gravas clastosoportados y arenas, semiconsolidados con intercalaciones de limos, tobas y depósitos epiclásticos, y localmente capas de sal, que se asocia con la unidad litológica definida como Depósitos aluviales del Mioceno Superior-Plioceno (MPa). Se distribuyen principalmente en la parte media y baja de la cuenca, y forman mantos extensos o expuestos de manera discontinua. Puede formar acuíferos en medio intergranular, libres, semiconfinados y/o confinados dependiendo de la presencia y la profundidad de las intercalaciones volcánicas que actuarían como confinantes.
- **Unidad Hidrogeológica B2:** unidad compuesta por gravas, conglomerados, brechas sedimentarias, areniscas, limolitas, arcillolitas y calizas, con intercalaciones menores de rocas piroclásticas. Se expone en afloramientos medianamente extensos en el sector occidental de la Depresión Central, Precordillera y sector alto de la cuenca. Puede formar acuíferos en medio intergranular, libres o semiconfinados. Tiene una importancia hidrogeológica media dada su extensión areal.
- **Unidad Hidrogeológica B3:** está compuesta por depósitos semiconsolidados de remoción en masa, asociada a la unidad litológica Depósitos de Avalancha de Lluta (Msrl). Están localizados en la Depresión Central y borde occidental de la Precordillera, al norte y sur de la quebrada. Se le asocia una permeabilidad primaria que proporciona una moderada importancia hidrogeológica y un régimen libre a semiconfinados.

### **Unidades Hidrogeológicas de Bajo Potencial Relativo en Rocas y Depósitos no Consolidados**

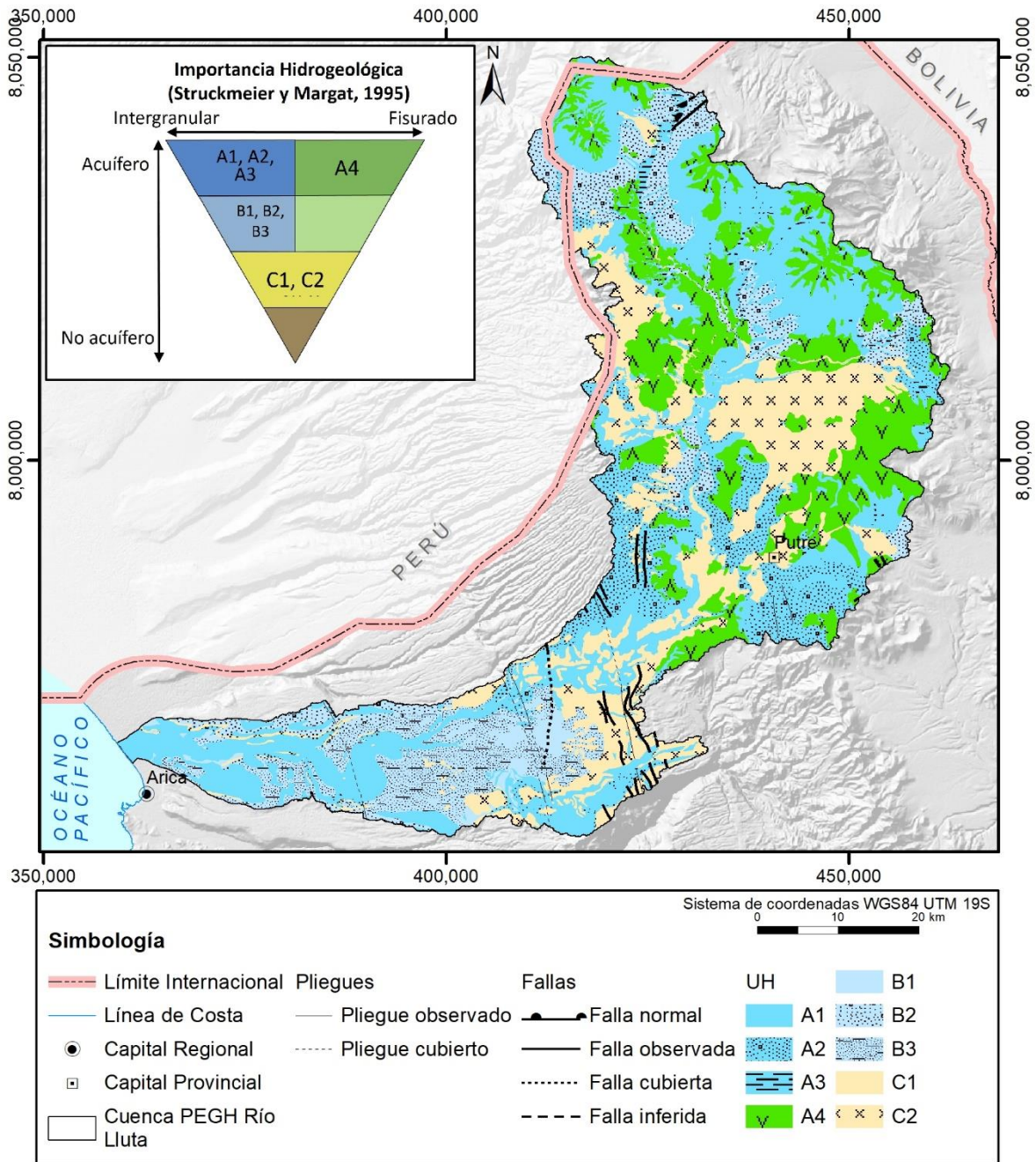
- **Unidad Hidrogeológica C1:** Unidad compuesta por rocas ígneas y sedimentarias de edad mesozoica y cenozoica, las que afloran en la precordillera, además de afloramientos aislados en cerros isla en la depresión Central, denominadas como la unidad litológica Rocas del Paleozoico-Cretácico (PzKpc). Esta unidad es considerada como parte del basamento impermeable de la cuenca y constituyen principalmente acuícludos y posiblemente acuífugos, por lo que tienen un potencial relativo bajo.
- **Unidad Hidrogeológica C2:** unidad conformada por tobas de lapilli y cenizas, asociadas a la unidad litológica Tobas soldadas (Mit). En esta unidad se destacan la Formación Oxaya y la Ignimbrita Lauca, que consisten en tobas dacíticas a riolíticas soldadas. Desde el punto de vista del recurso hidrogeológico, esta unidad tiene un bajo potencial relativo. Se le asocia una permeabilidad primaria baja. Por tener baja permeabilidad primaria, puede comportarse como acuitardo y/o como acuícludo en roca fracturada, o como acuífugo cuando la roca no presenta fracturamiento. En el sector de Lluta bajo destaca parte de la Fm. Oxaya, como una ignimbrita con intercalaciones de 200 m de material sedimentario, con una serie de fracturas y fallas con continuidad preferentemente noroeste. Esta unidad presenta una porosidad primaria baja a nula, pero con un grado de fracturamiento que le proporciona una importancia hidrogeológica baja.

### **Parámetros hidráulicos**

En el estudio DGA (2016), se realiza una estimación de los parámetros hidráulicos para cada unidad hidrogeológica, recopilando los resultados de las pruebas de bombeo existentes y presentando valores referenciales de literatura para parámetros hidráulicos en aquellas unidades donde no se han realizado ensayos. En dicho estudio, se incluyen las estimaciones realizadas por DGA (1995) para el acuífero del valle del río Lluta a partir de la interpretación de pruebas de bombeo de corta duración realizadas en sondajes.

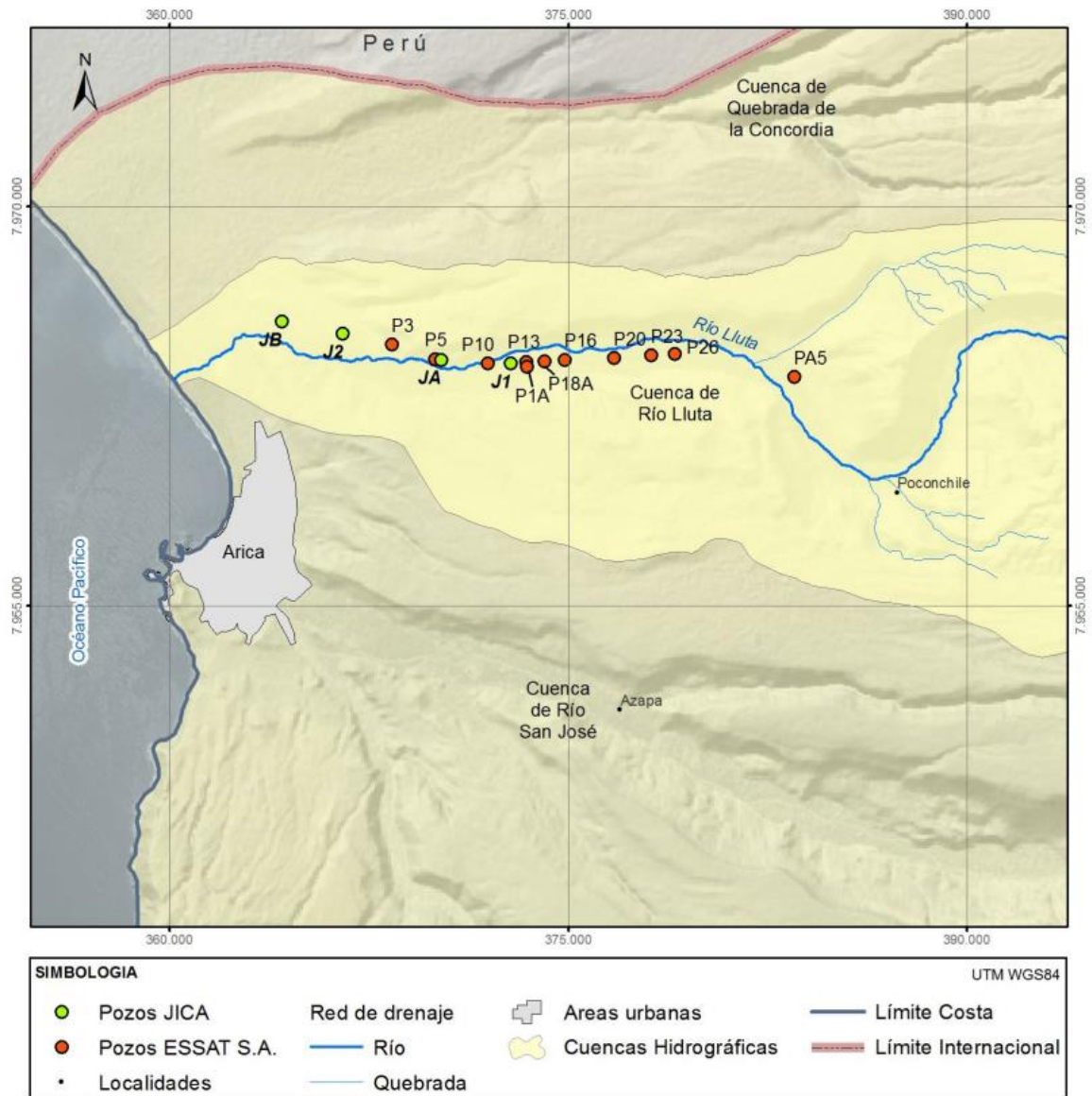
En la subcuenca del río Lluta Bajo, la información se basa en las pruebas realizadas en 2 pozos de bombeo (J-A y J-B) y dos pozos de observación (J-1 y J-2) perforados por DGA (1995), y en 11 sondajes construidos por la empresa ESSAT para suministro de agua potable en la comuna de Arica (ESSAT, 1998b). En la Figura 2.16 se presenta la ubicación de los sondajes y pozos antes mencionados.

En la Tabla 2.14 se presenta el resumen de los parámetros obtenidos en las pruebas de bombeo de los pozos y los diferentes autores que estimaron los valores. Del mismo modo, en la Tabla 2.15 se muestran los valores de estos parámetros asignados a cada unidad hidrogeológica.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.15 Mapa de Unidades Hidrogeológicas de la cuenca del río Lluta.**



Fuente: DGA (2016).

**Figura 2.16 Ubicación de 11 sondajes de ESSAT S.A. y 4 sondajes JICA.**

**Tabla 2.14 Parámetros hidráulicos obtenidos de la interpretación de las pruebas de bombeo de los pozos de la subcuenca del río Lluta Bajo.**

Pozo	Profundidad (m)	Unidad Hidrogeológica	Tramo criba (m)	Fuente de dato	Tipo Ensayo	Tipo de acuífero	K (m/día)	T (m <sup>2</sup> /día)	Sy
P3	152	I	5	A, C Y ASOC. (98)	Caudal Constante Recuperación	Libre	0,2	23	0,01
		VII	53						
P5	149	I	45	A, C Y ASOC. (98)	Caudal Constante Recuperación	Libre	0,3	27	0,01
P10	132	I	34	A, C Y ASOC. (98)	Caudal Constante Recuperación	Libre	1,2	60	0,05
P13	138	I	40	A, C Y ASOC. (98)	Caudal Constante Recuperación	Libre	1,9	24	3 x10 <sup>-3</sup>
		VII	11						
P1A	150	I	84	A, C Y ASOC. (98)	Caudal Constante Recuperación	Libre	5,4	606	5 x10 <sup>-3</sup>
P18A	152	I	69	A, C Y ASOC. (98)	Caudal Constante Recuperación	Libre	6,9	572	5 x10 <sup>-3</sup>
P16	150	I	43	A, C Y ASOC. (98)	Caudal Constante Recuperación	Libre	1,1	77	0,08
P20	142	I	68	A, C Y ASOC. (98)	Caudal Constante Recuperación	Libre	0,6	52	0,02
P23	150	I	14	A, C Y ASOC. (98)	Caudal Constante Recuperación	Libre	1,3	65	0,05
		VII	55						
P26	120	I	61	A, C Y ASOC. (98)	Caudal Constante Recuperación	Libre	0,9	70	0,01
PA5	140	I	38	A, C Y ASOC. (98)	Caudal Constante Recuperación	Libre	0,8	47	3,5 x10 <sup>-3</sup>
JB	72	I	29	JICA (95)	Caudal Variable	Libre	4,3	310	4,7 x10 <sup>-4</sup>
		VII	43		Caudal Constante Recuperación				
J2	90	I	90	JICA (95)	Caudal Variable Caudal Constante Recuperación	Libre	1,6	150	6,6 x10 <sup>-6</sup>
JA	43	I	42	JICA (95)	Caudal Variable Caudal Constante Recuperación	Libre	0,5	23	8,5 x10 <sup>-4</sup>
J1	61	I	60	JICA (95)	Caudal Variable Caudal Constante Recuperación	Libre	6,1	368	6,6x10 <sup>-6</sup>

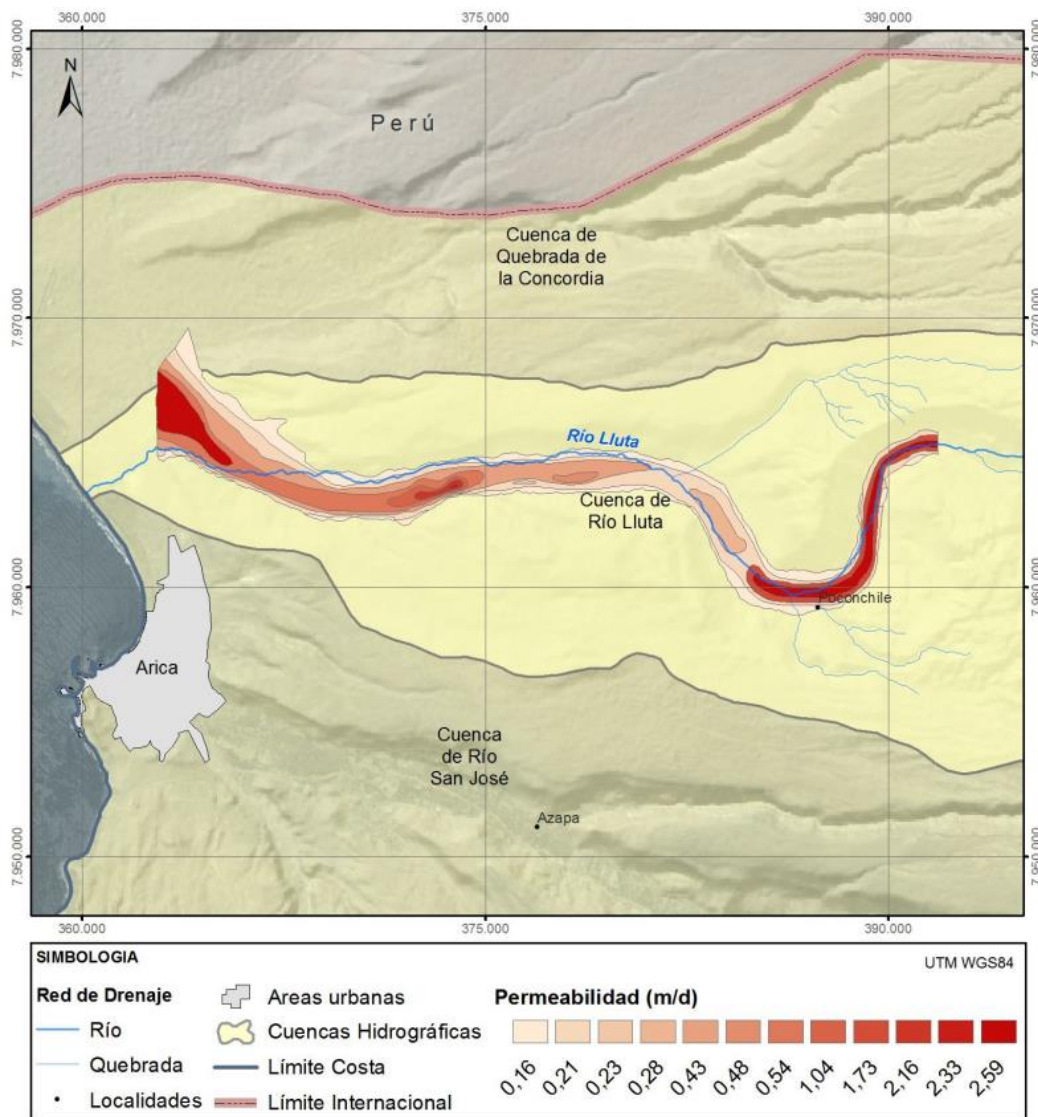
Fuente: DGA (2016).

**Tabla 2.15 Parámetros hidráulicos para cada unidad hidrogeológica de la cuenca del río Lluta**

Cuenca	Subcuenca	Unidad Hidrogeológica	Régimen	T (m <sup>2</sup> /día)	K (m/día)	S <sub>s</sub> (m <sup>-1</sup> )	Sy (%)	Observaciones
Río Lluta	Alto Bajo	I	Libre	20-600	0,1-10	--	1-8	K, Sy por pruebas de bombeo, DGA (1995) y ESSAT (1998b)
	Alto	II	Libre		1E <sup>-7</sup> a 1E <sup>2</sup>	--	6-38	K estimado por Domenico & Schwartz (1990) para materiales diversos. Rango de Sy en acuíferos no-consolidados por Morris & Johnson (1967)
	Alto	III	Libre		1E <sup>-2</sup> -1E <sup>2</sup>	--		K estimado por Aguaconsult (2010) depósitos volcánicos
	Alto	IV	Libre		8E <sup>-7</sup> - 2E <sup>-3</sup>	--		K estimado por Domenico & Schwartz (1990) para rocas sedimentarias
	Alto Bajo	V	Libre		1E <sup>-6</sup> - 1E <sup>2</sup>	--		K estimado por Aguaconsult (2010) Fm. Huaylas y por Domenico & Schwartz (1990) para rocas sedimentarias
			Confinado			--		
	Alto Bajo	VII	Libre		7E <sup>-4</sup> - 30	--		K estimado por Doménico & Schwartz (1990) y S por Domenico & Mifflin (1965) para roca fracturada.
			Confinado			3E <sup>-6</sup> -7E <sup>-5</sup>	--	
Alto Bajo	VIII	Libre		1E <sup>-5</sup> -1	--		K estimado por Aguaconsult (2010) de la Fm. Lupica. S por Domenico & Mifflin (1965)	
		Confinado			3E <sup>-6</sup> -1E <sup>-5</sup>	--		

Fuente: DGA (2016).

En el estudio de DOH (2002) se realizó una distribución espacial de las conductividades hidráulicas a partir de la estimación de los parámetros hidráulicos obtenidos en las pruebas de bombeo realizadas en el valle del Lluta tanto por DGA (1995) y ESSAT (1998b), cuyos valores varían desde 0,15 m/d hasta 2,6 m/d (Figura 2.17) y el coeficiente de almacenamiento oscila entre 0,6 y 11%. Por otra parte, los resultados de la prueba de larga duración que realizó ESSAT (1998b) y con la que se estimó el efecto de la extracción de agua del río Lluta, indicó un gradiente hidráulico de 4%, una permeabilidad de 2,6 m/d, un espesor de 120 m y un ancho promedio de 1.150 m, resultando un flujo subterráneo de 166 l/s.



Fuente: DGA (2016), modificado de ESSAT (1998b)

**Figura 2.17 Distribución de la conductividad hidráulica (m/día) en el valle del río Lluta.**

### **Niveles freáticos y Piezometría**

La información de niveles piezométricos en la cuenca del río Lluta, se concentra principalmente en la subcuenca del río Lluta Bajo donde se han perforado pozos de exploración, de monitoreo y de producción. En la subcuenca del río Lluta Alto, no existen estaciones de monitoreo por lo que se infieren estos niveles a partir de los perfiles geofísicos existentes, por este motivo no se presenta un análisis temporal en los niveles de este sector.

#### ***Evolución temporal niveles freáticos subcuenca río Lluta Bajo***

El análisis de la evolución temporal de los niveles freáticos para la subcuenca del río Lluta Bajo se ha realizado mediante la información disponible de las estaciones de monitoreo de niveles de pozos de la DGA, que en el presente caso corresponden a 4 estaciones, de las cuales se ha extraído la información desde el año 2000 a la fecha, cuya información se presenta en la Tabla 2.16. Los datos de niveles freáticos se concentran en el entorno del río Lluta, en la Unidad Hidrogeológica I.

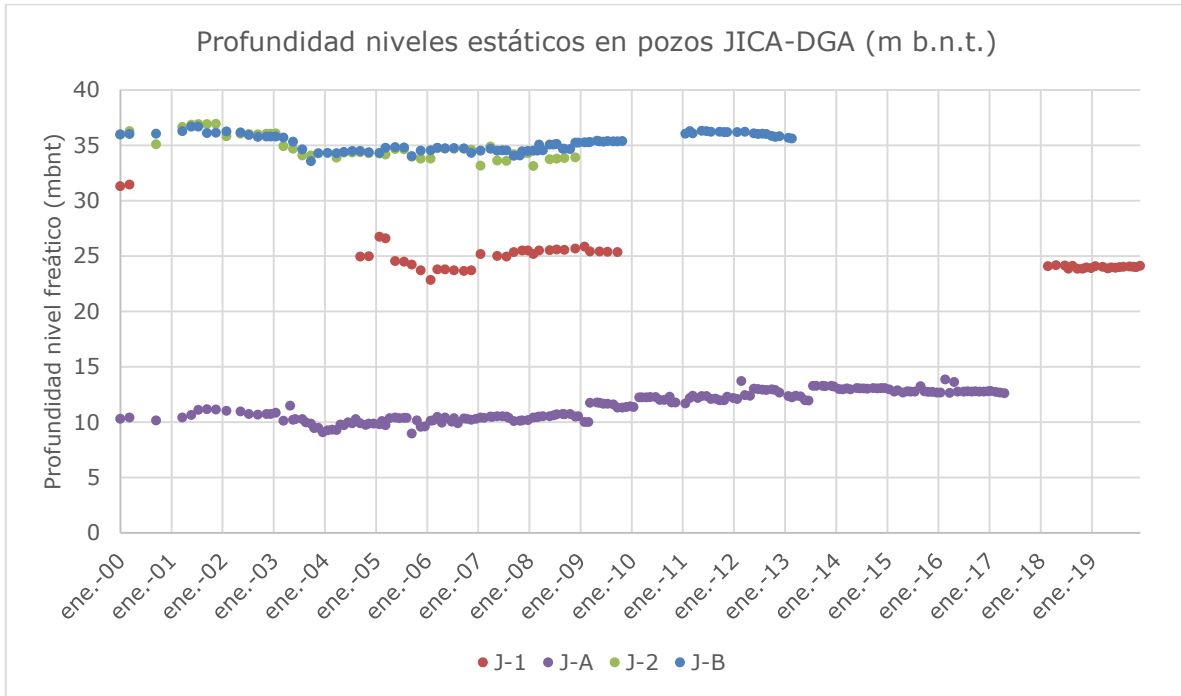
**Tabla 2.16 Información Estaciones de Niveles de Pozos DGA.**

Nombre Estación Niveles de Pozos DGA	Cód. BNA	Datum WGS84 H19S		Altitud (m s.n.m.)	Periodo Datos
		UTM Este	UTM Norte		
J-A	01211010-3	370.231	7.963.864	183	2000-2017
J-B	01211007-3	363.899	7.964.829	112	2000-2013
J-1	01211008-1	372.638	7.963.082	223	2000-2019
J-2	01211009-K	366.082	7.964.881	114	2000-2008

Fuente: elaboración propia.

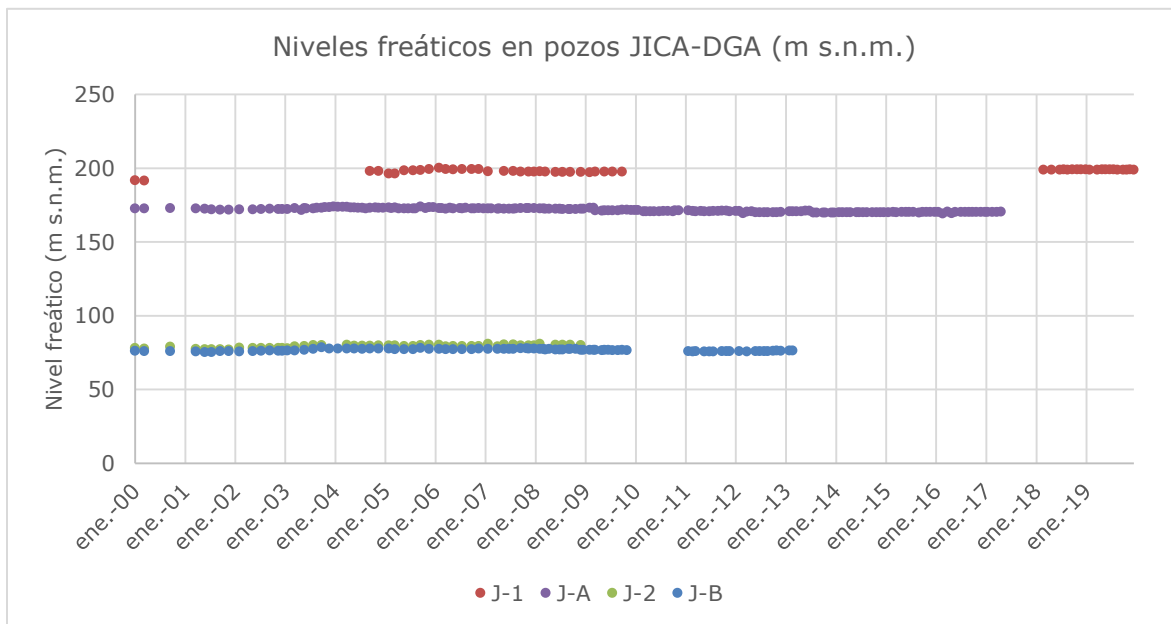
El nivel freático en estos pozos, se encuentra a profundidades del orden de los 8-10 m b.n.t. para el pozo J-A el cual se sitúa más cercano al cauce del río Lluta, a unos 22-23 m b.n.t. en el pozo J-1 y entorno a los 33,5 m en los pozos J-B y J-2 (Figura 2.18). Aquellas fluctuaciones en los datos que presentan algunos pozos pueden obedecer a que las mediciones se realizan de manera puntual un día en el mes, y el nivel en el momento de la medición puede estar influenciado por extracciones en el mismo pozo o en pozos cercanos no correspondiendo a un nivel estático propiamente tal. Sin embargo, la tendencia de los niveles en el tiempo se ha mantenido cercana a la estabilización, mostrando tan sólo el pozo J-A, una leve tendencia al descenso de nivel en el tiempo.

En relación a la piezometría, de la Figura 2.19 se puede desprender que el flujo del agua subterránea iría desde el este al oeste, con un nivel piezométrico mayor en el pozo J-1 cercano a los 200 m s.n.m., disminuyendo al acercarse a la línea de costa a unos 75 m s.n.m. en el pozo J-B. La distancia entre estos pozos es de aproximadamente 2,4 km, por lo que el gradiente hidráulico en este tramo es cercano al 5%.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.18 Evolución temporal de la profundidad del nivel freático en metros bajo el nivel del terreno (m b.n.t.) en pozos JICA-DGA, periodo 2000-2019.**



Fuente: elaboración propia.

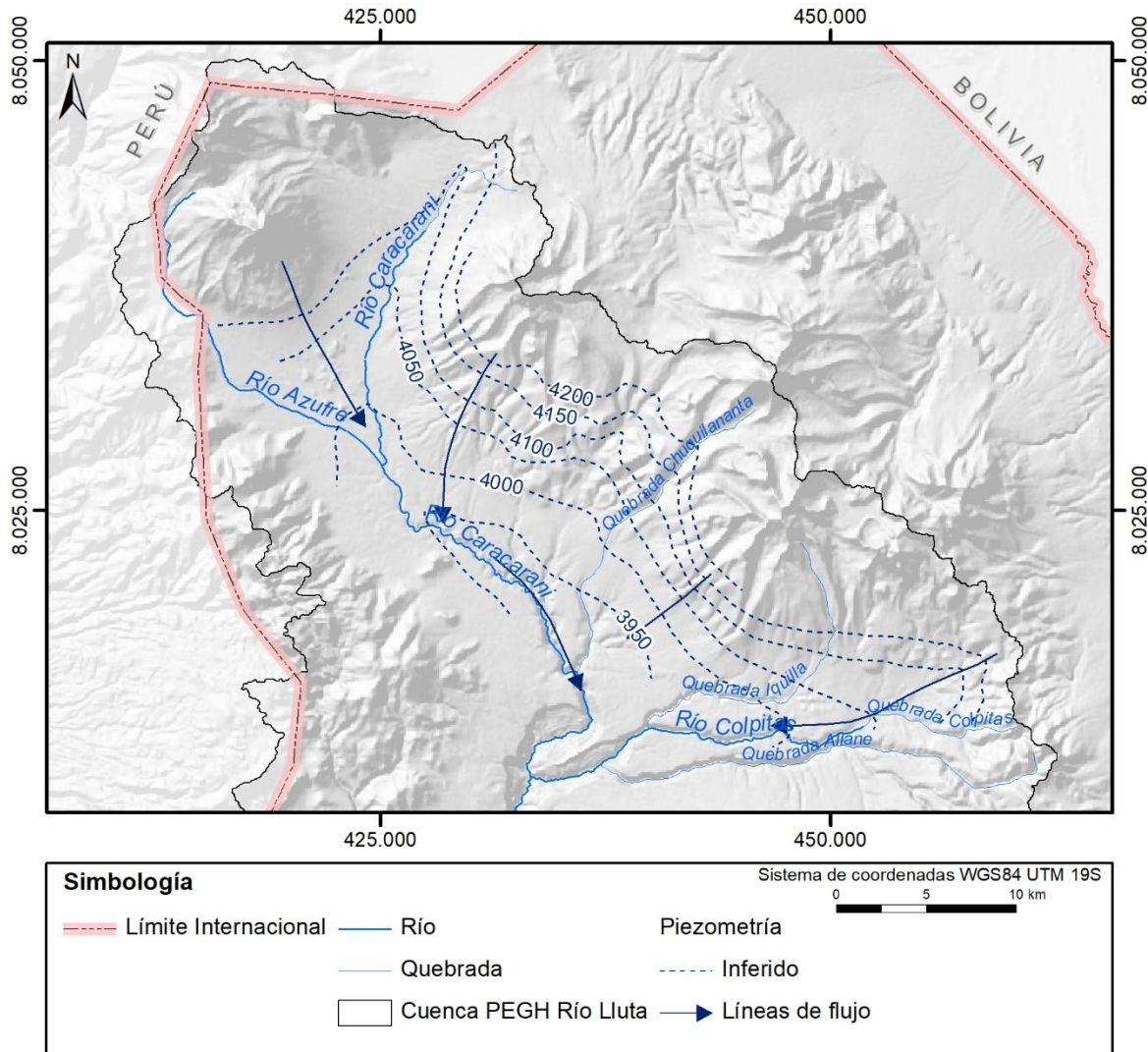
**Figura 2.19 Evolución temporal del nivel freático en pozos JICA-DGA, en metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.), periodo 2000-2019.**

### ***Piezometría***

A continuación, se presenta la información piezométrica de las subcuencas Lluta Alto y Lluta Bajo.

#### Subcuenca del río Lluta Alto

En el estudio DGA (2016), se presenta un mapa piezométrico en esta subcuenca con información de niveles inferidos de perfiles geofísicos, imágenes satelitales, ubicación de vertientes y bofedales y una base topográfica con curvas de nivel cada 50 m del IGM (Figura 2.20). En este mapa, se puede observar que las isopiezas y líneas de flujo van desde las cotas más altas en los complejos volcánicos hacia cotas más bajas y que las unidades hidrogeológicas de mayor importancia alimentarían a los cauces superficiales. Después de la confluencia del río Lluta con el río Colpitas, no se observan líneas piezométricas lo que indicaría que en este sector los recursos hídricos fluyen superficialmente, siendo el río Lluta el cauce principal que drenaría por rocas de baja conductividad hidráulica.



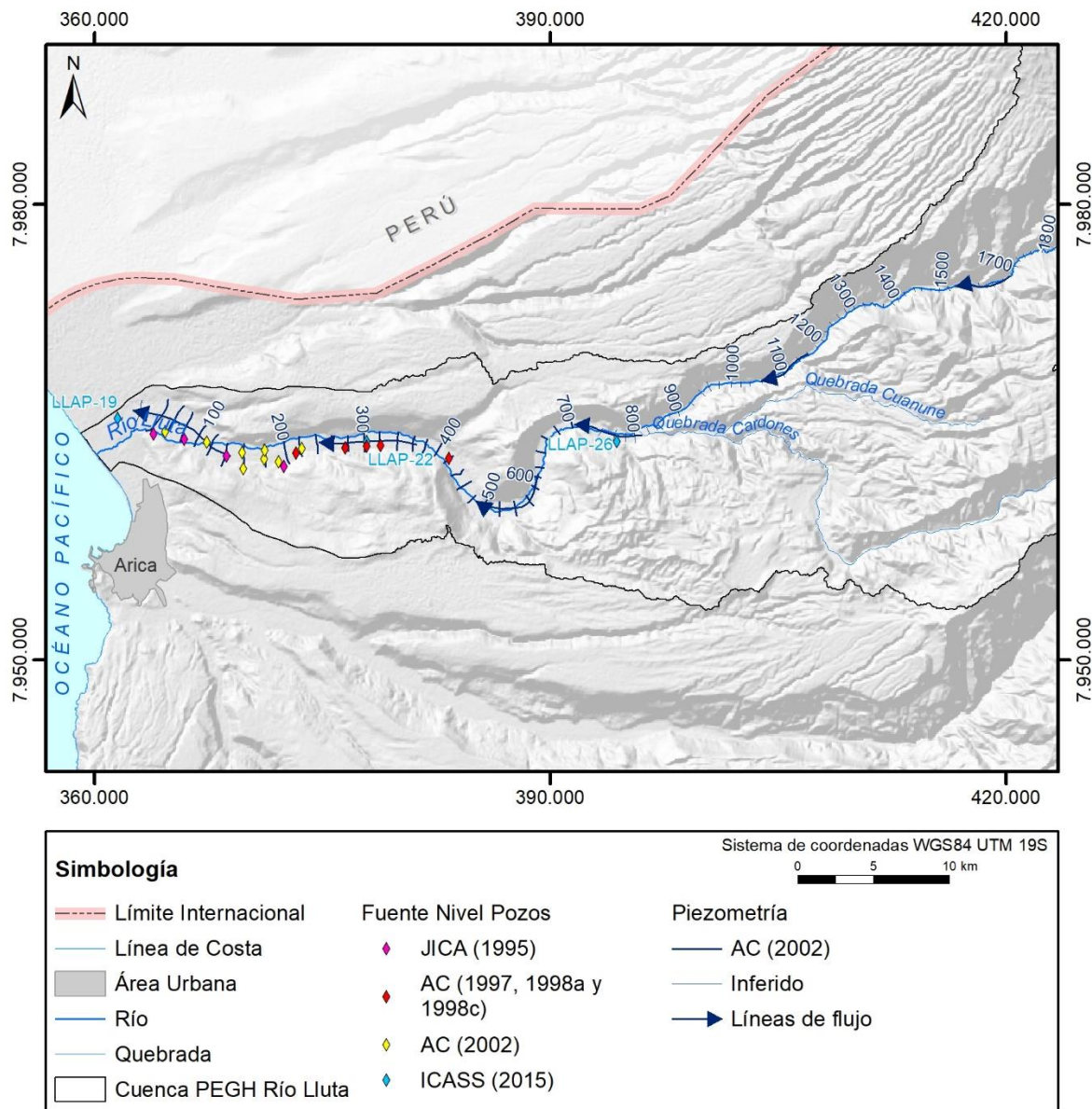
Fuente: modificado a partir de datos de DGA (2016).

**Figura 2.20 Mapa piezométrico inferido de la subcuenca del río Lluta Alto.**

### Subcuenca río Lluta Bajo

Para la subcuenca del río Lluta Bajo, el mapa piezométrico que presenta la DGA (2016), se sustenta con datos duros obtenidos de mediciones en pozos y sondajes, aunque estas sólo se distribuyen en el entorno cercano al río, en la Unidad Hidrogeológica I, quedando el resto del área sin información de mediciones de nivel.

En la Figura 2.21 se observa que el flujo subterráneo va desde este a oeste, por el valle del río Lluta. El gradiente hidráulico fue estimado en 2% en base a la información de niveles de los pozos LLAP-26 y LLAP-19 que fueron medidos por ICASS en dos campañas de terreno durante el año 2015.

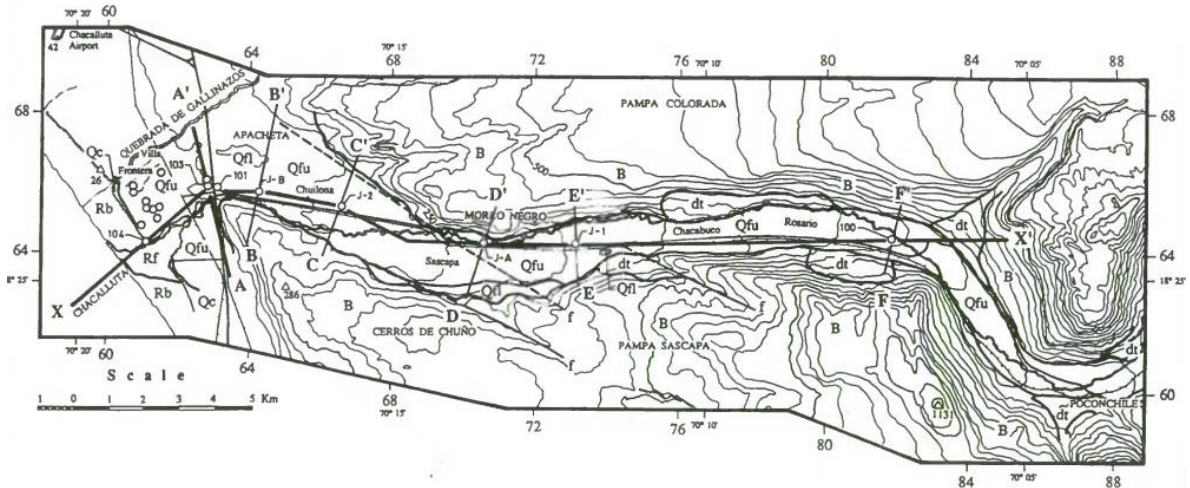


Fuente: modificado de DGA (2016).

**Figura 2.21 Mapa piezométrico unidad Hidrogeológica I, subcuenca del río Lluta Bajo.**

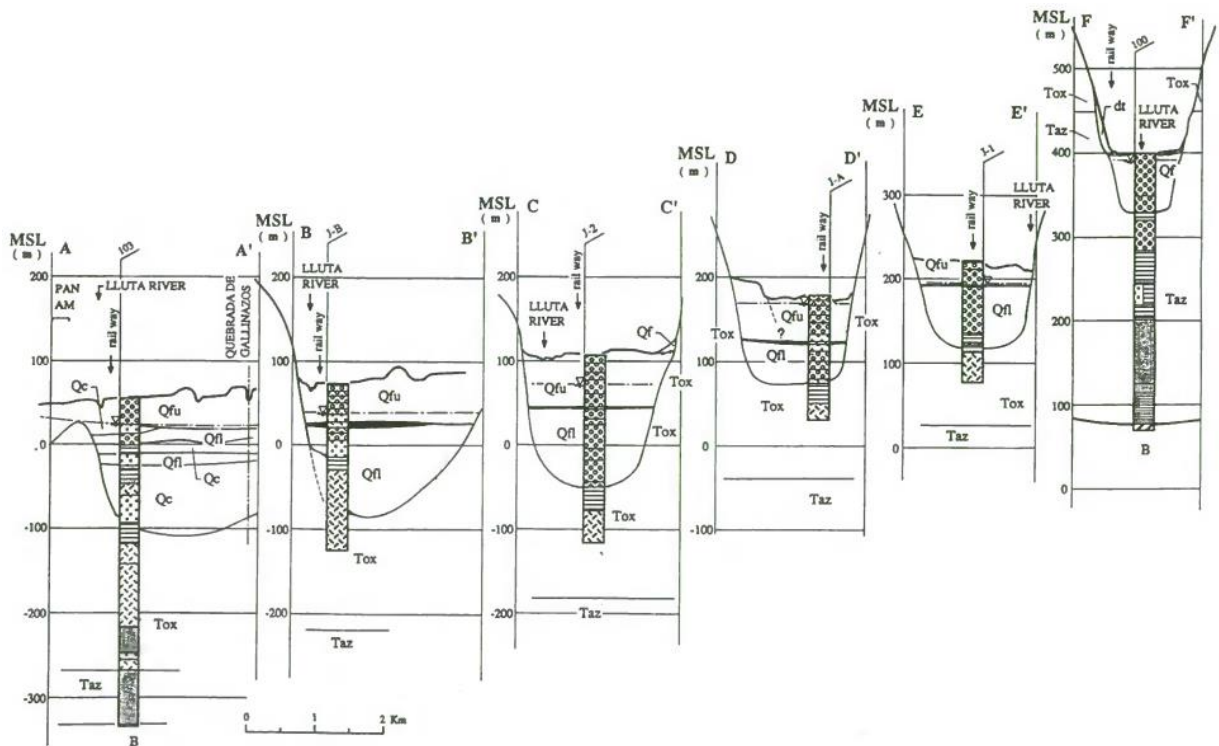
### ***Volumen almacenado y Caudal subterráneo***

El volumen almacenado y el caudal de flujo subterráneo dependen fundamentalmente de la geometría del acuífero, las características hidrogeológicas y las propiedades hidráulicas del acuífero. DGA (1995) elaboró 7 perfiles geológicos, 6 de ellos transversales al valle y uno de ellos a lo largo de este. Estos perfiles fueron sustentados con la información geológica de 7 pozos. En la Figura 2.22 se muestra la ubicación de los perfiles en el valle, mientras que en la Figura 2.23 y en la Figura 2.24 se presentan los perfiles geológicos antes mencionados.



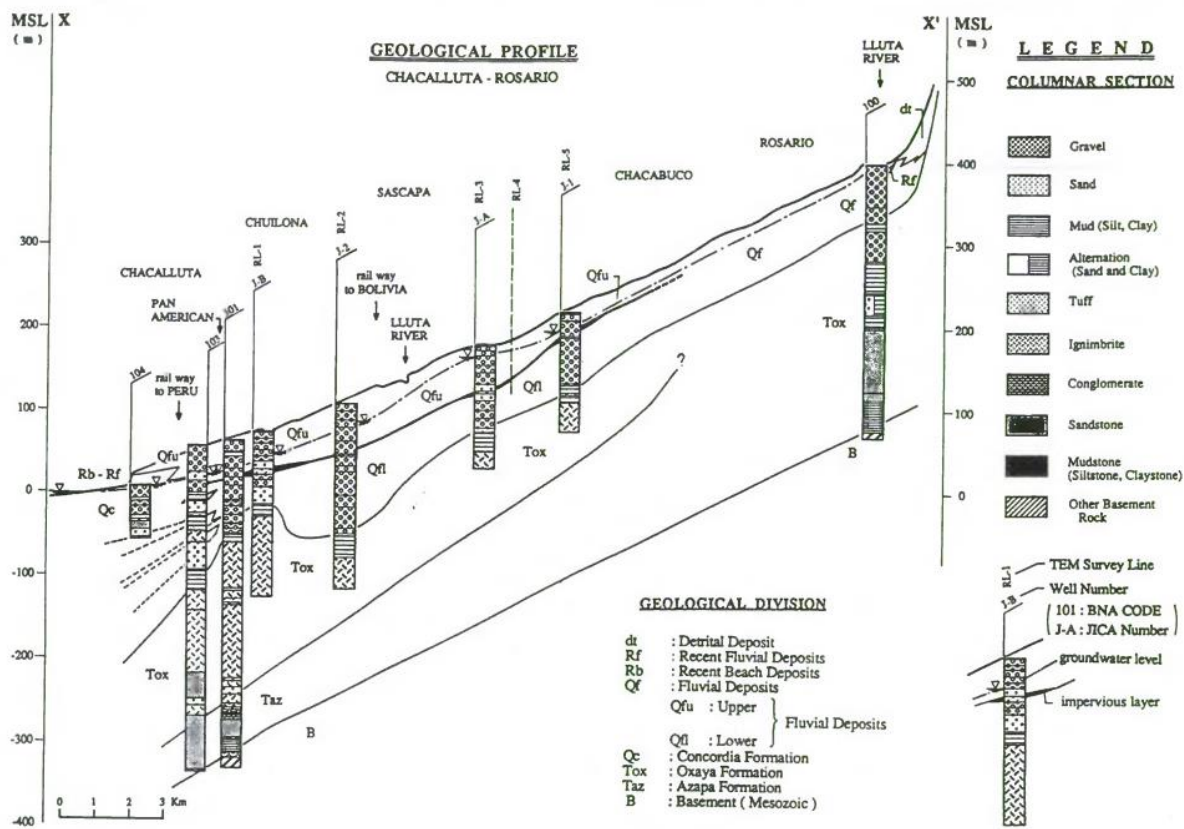
Fuente: DGA (1995).

**Figura 2.22 Secciones geológicas y acuífero del Valle Bajo del Lluta.**



Fuente: DGA (1995).

**Figura 2.23 Perfiles geológicos elaborados por DGA (1995).**



Fuente: DGA (1995).

**Figura 2.24 Perfil geológico X-X' en el valle del río Lluta elaborado por DGA (1995),**

Con la elaboración de estos perfiles, DGA (1995) estimó que el acuífero poco profundo contenido en las unidades superiores de los depósitos fluviales y la Formación Concordia tiene una profundidad del orden de los 10 m y 30 m y un ancho considerable entre los 800-1000 m en Chacabuco y hasta 3-4 km en Chacalluta. El coeficiente de permeabilidad estimado en este acuífero es de  $10^{-3}$  cm/s (alrededor de 1 m/día) por la similitud con el acuífero profundo y los resultados de las pruebas de bombeo en este último.

Por otra parte, el acuífero profundo contenido en las unidades inferiores de los depósitos fluviales y la Fm. Concordia se extiende sobre todo el valle del Bajo Lluta entre Rosario y la costa. Tanto el espesor como el ancho del acuífero aumenta gradualmente hacia aguas abajo, dicha información se presenta en la Tabla 2.17. Este acuífero es básicamente confinado, sin embargo, la capa impermeable sobre el acuífero es discontinua en algunos lugares, en los cuales pasa a ser semiconfinado. Las pruebas de bombeo en los pozos permitieron estimar los parámetros hidráulicos de este acuífero profundo (Tabla 2.18), resultando un coeficiente de almacenamiento más bien pequeño, con un promedio de  $3,35 \times 10^{-4}$  (acuífero confinado). La conductividad hidráulica o permeabilidad es del orden de  $10^{-3}$  cm/s, un tanto disminuida para un acuífero detrítico por el contenido de finos en la matriz. El rendimiento específico varía según el lugar, entre 0,24 y 4,26 l/s/m, por lo que la productividad variará dependiendo de la ubicación,

encontrándose la más alta productividad en el área aguas abajo de la carretera Panamericana, con 2,64 l/s/m como promedio.

**Tabla 2.17 Información del acuífero profundo.**

Localización	Espesor (m)	Ancho (m)	Nivel Superior (m b.n.t.)	Nivel Base (m s.n.m.)
Rosario	70	1.000	10	330
Chacabuco	70	800 a 1.000	15	110
Sascapa	50	1.500	30	90
Chuilona	100	2.800 a 3.000	30	-25
Villa Frontera	100	3.000	20 a 25	-80 a -90

Fuente: modificado de DGA (1995).

**Tabla 2.18 Parámetros hidráulicos del acuífero profundo.**

Pozo	Rendimiento específico (l/s/m)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /día)	Coefficiente de Almacenamiento	Permeabilidad (cm/s)
J-1	1,44	368	$6,62 \times 10^{-6}$	$7,01 \times 10^{-3}$
J-A	0,24	23	$8,54 \times 10^{-4}$	$6,25 \times 10^{-4}$
J-2	0,73	150	$6,60 \times 10^{-6}$	$1,93 \times 10^{-3}$
J-B	0,62	310	$4,72 \times 10^{-4}$	$4,98 \times 10^{-3}$
100-2	0,36			
101-0	2,6			
102-9	0,99			
103-7	2,7			
104-5	4,26			
Promedio	1,72	213	$3,35 \times 10^{-4}$	$3,63 \times 10^{-3}$

Fuente: modificado de DGA (1995).

De este modo, se estimó el almacenamiento en 5 zonas del valle (Tabla 2.19), las cuales están limitadas por las secciones geológicas presentadas en la Figura 2.22.

**Tabla 2.19 Almacenamiento del acuífero por zona.**

Zona	Sección	Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )
1	A-A' a B-B'	14,5
2	B-B' a C-C'	23,6
3	C-C' a D-D'	23,7
4	D-D' a E-E'	13,8
5	E-E' a F-F'	31,3
Total		106,9

Fuente: DGA (1995).

En resumen, DGA (1995) define un acuífero de agua subterránea con un almacenamiento de un total de 107 millones de m<sup>3</sup> en los depósitos aluviales del valle del bajo Lluta. El acuífero se extiende 18 km desde Rosario hasta la carretera Panamericana. Este acuífero está compuesto por un acuífero de poca profundidad de tipo no confinado y un acuífero profundo de tipo confinado. Este último tiene un ancho

entre 800 y 3.000 m, un espesor entre 50 y 100 m, una permeabilidad de  $3,63 \times 10^{-3}$  cm/s, un rendimiento específico de 1,72 l/s/m, y una porosidad efectiva del 20%.

Por otra parte, ESSAT (1998b) mediante una prueba de larga duración con la que se estima el efecto de la extracción de agua del río Lluta, obtiene como resultado un flujo subterráneo de 166 l/s. Esto considerando un gradiente hidráulico de 4%, una permeabilidad de  $3 \times 10^{-5}$  m/s, un espesor de 120 m y un ancho promedio de 1.150 m.

Finalmente, la DGA (2016) estima un caudal subterráneo de salida de la cuenca al mar de 23 l/s, y de 50 l/s como un flujo lateral saliente a la cuenca del río Concordia.

Con esta información, en el presente estudio se ha estimado un caudal subterráneo para el acuífero profundo utilizando los valores promedios de los diferentes parámetros y estimando valores por sectores de acuerdo a los datos puntuales de los resultados de las pruebas de bombeo y la geometría del acuífero en cada sección. Cabe destacar, que el valor del gradiente hidráulico fue designado en este estudio como del 2% y fue calculado como promedio del gradiente entre los pozos LLAP-26 y LLAP-19 basado en el Mapa Piezométrico de la subcuenca del río Lluta Bajo (Figura 2.21). El resumen de estas estimaciones se presenta en la Tabla 2.20, de la cual se obtiene un flujo promedio de 118 l/s.

**Tabla 2.20 Resumen de flujo subterráneo calculado para el acuífero profundo del valle del río Lluta.**

Estudio	Sector	Permeabilidad (m/s)	Espesor (m)	Ancho (m)	Gradiente hidráulico	Flujo subterráneo (l/s)	Flujo subterráneo Prom. (l/s)
DGA (1995)	Total	$3,63 \times 10^{-5}$	50	800	0,02	29	103
		$3,63 \times 10^{-5}$	50	3.000	0,02	109	
		$3,63 \times 10^{-5}$	100	800	0,02	58	
		$3,63 \times 10^{-5}$	100	3.000	0,02	218	
DGA (1995); Pozo J-1	Chacabuco	$7,01 \times 10^{-5}$	70	1.000	0,02	98	129
DGA (1995); Pozo J-A	Sascapa	$6,25 \times 10^{-6}$	50	1.500	0,02	9	
DGA (1995); Pozo J-B	Chuilona	$4,98 \times 10^{-5}$	100	2.800	0,02	279	
ESSAT (1998a)	Total	$3,00 \times 10^{-5}$	120	1.150	0,04	165,6	166
DGA (2016)	Saliente a Concordia					50	73
DGA (2016)	Salida cuenca					23	
<b>Flujo subterráneo promedio</b>							<b>118</b>

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar, que con los datos de la geometría del acuífero superior de DGA (1995), se estimó preliminarmente un caudal de 13 l/s para este acuífero (Tabla 2.21). Sin embargo, no se tiene precisión en el gradiente ni en la conductividad hidráulica y no se tiene certeza si este caudal, ESSAT (1998a) y la DGA (2016) ya lo han considerado en su cálculo de flujo de salida.

**Tabla 2.21 Estimación flujo subterráneo para acuífero superior, según valores de DGA (1995).**

Estudio	Sector	Permeabilidad (m/s)	Espesor (m)	Ancho (m)	Gradiente hidráulico	Flujo sub. (l/s)	Flujo sub. Prom. (l/s)
DGA (1995)	Chacabuco	$1 \times 10^{-5}$	10	800	0,02	1,6	13
DGA (1995)	Chacalluta	$1 \times 10^{-5}$	30	4.000	0,02	24	

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.6 División político-administrativa

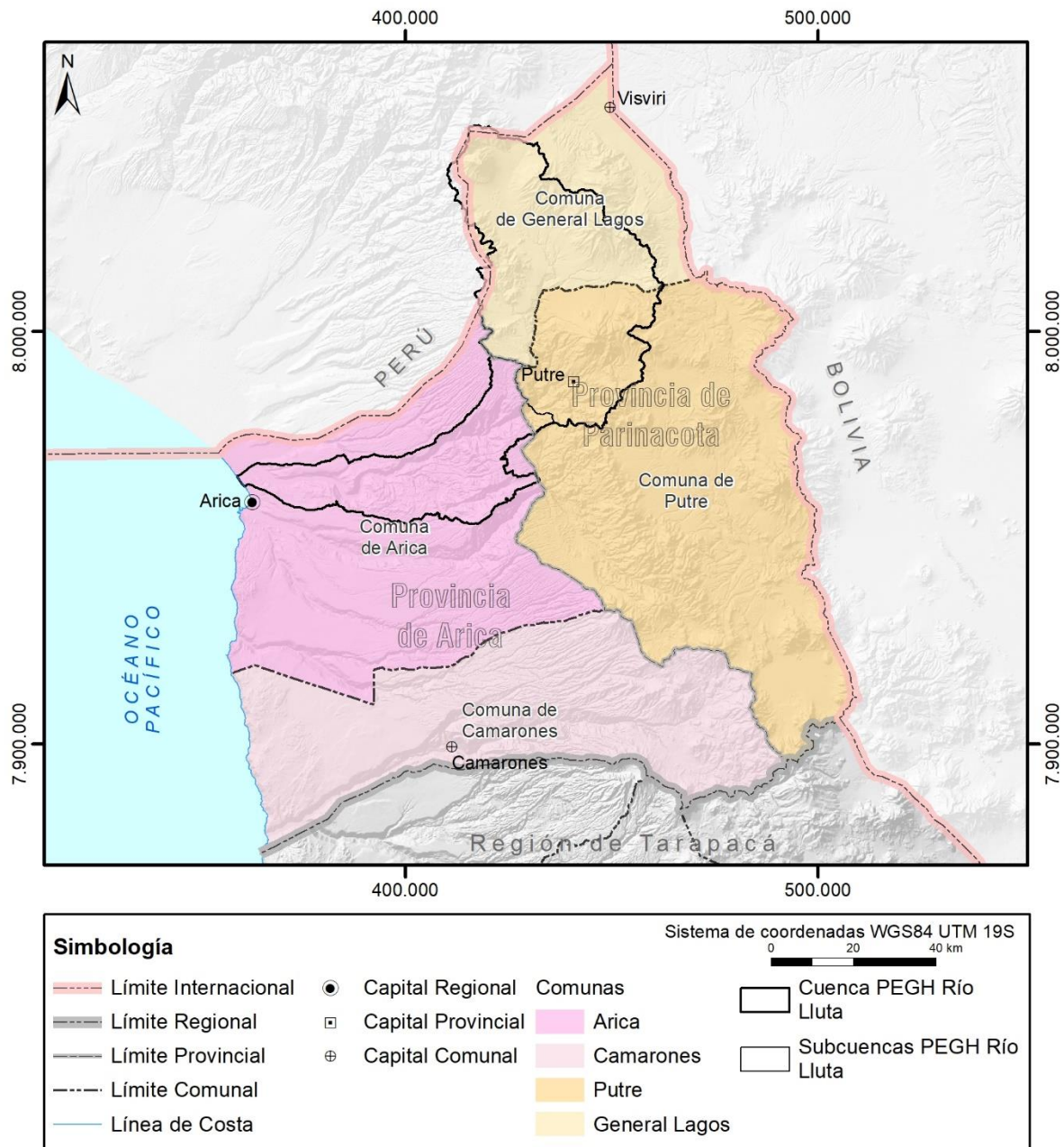
La cuenca del río Lluta queda ubicada dentro de la región de Arica y Parinacota, cuya capital es la ciudad de Arica. Administrativamente, la región se divide en las provincias de Arica y Parinacota, cuyas capitales son Arica y Putre, respectivamente. La provincia de Arica se subdivide en las comunas de Arica, con capital homónima y la comuna de Camarones, de capital Cuya. Por otro lado, la provincia de Parinacota se subdivide en las comunas de General Lagos, con capital Visviri y la comuna de Putre, con capital homónima. Un resumen de la división político-administrativa se presenta en la Tabla 2.22 y cuya distribución geográfica se muestra en la Figura 2.25.

**Tabla 2.22 Provincias y comunas de la región de Arica y Parinacota.**

Región	Provincia	Comuna
XV - Región de Arica y Parinacota Área: 16.864 km <sup>2</sup> 98,4% del área de la cuenca* Capital Arica	Arica Área: 8.722 km <sup>2</sup> 33,3% de la cuenca Capital: Arica	Arica Área: 4.800 km <sup>2</sup> 33,3% de la cuenca Capital: Arica
		Camarones Área: 2.922 km <sup>2</sup> 0% de la cuenca Capital: Cuya
	Parinacota Área: 8.143 km <sup>2</sup> 65,1% de la cuenca Capital: Putre	General Lagos Área: 2.258 km <sup>2</sup> 39,5 % de la cuenca Capital: Visviri
		Putre Área: 5.884 km <sup>2</sup> 25,6% de la cuenca Capital: Putre

\*Un 1,6% del área de la cuenca de Lluta se encuentra en territorio peruano.

Fuente: elaboración propia a partir de Mapoteca DGA.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.25 Provincias y comunas de la Región de Arica y Parinacota.**

Se observa que la cuenca estudiada abarca en su parte baja, parte de la provincia y comuna de Arica, mientras que su parte alta se localiza en la provincia de Parinacota, abarcando parte de las comunas de Putre y General Lagos.

### 2.1.7 Actividad Económica

Las actividades económicas más importantes en la cuenca del río Lluta corresponden a las actividades agropecuarias, y en menor medida al turismo, minería e industria. En la

subcuenca del Lluta Alto se genera actividades de ganadería de camélidos y ovinos, y una agricultura de subsistencia dada principalmente por alfalfa y orégano. En la subcuenca del Lluta Bajo, las principales actividades económicas se dan en el Valle de Lluta, en el que se da una agricultura de mediana producción, destacando el maíz, la cebolla y el tomate, así como una gran cantidad de granjas de aves. A la altura de la panamericana se ha desarrollado el Parque Industrial Puerta América, en el que se emplazan pequeñas industrias y servicios, como la fábrica de cementos Inacesa, la Planta de hormigón Ready Mix, un par de plantas de procesamiento de minerales, una embotelladora de agua depurada, el Terrapuerto de camiones Arica-Bolivia y la Planta Desaladora de Aguas del Altiplano. A continuación se detallan las principales actividades económicas que se desarrollan en la cuenca.

### **Agricultura**

La actividad agrícola y ganadera presenta una concentración en áreas geográficas específicas debido a la aridez de las tierras y a las condiciones climáticas desérticas, que predominan en la mayor parte del territorio de la región, reduciéndose sólo a la agricultura del valle y precordillera, y ganadería camélida del altiplano. En estos sectores existen ciertos cultivos en la zona del valle de Lluta, especialmente maíz, cebolla, ajo y alfalfa, además de la ganadería de camélidos en la parte alta. En los últimos años se ha destacado el aumento de la superficie de cebollas y ajos. La producción es destinada al mercado local, a la zona central del país y también, en forma importante, a las regiones de Antofagasta y Atacama. También se desarrollan actividades agrícolas en terrazas aledañas a las localidades de Putre y Socoroma, cuyo cultivo más importante corresponde a la alfalfa.

Los cultivos del Valle de Lluta se han visto reducidos por la adaptación a las condiciones locales del valle, como: problemas de baja permeabilidad, niveles de la napa someros y niveles de salinidad medio-altos, especialmente de la salinidad; y que se da en los cultivos como el maíz, alfalfa y algunas hortalizas, entre las que destacan la cebolla, el poroto fresco en vaina y frutales. Caso especial es el del tomate, el cual a partir del mejoramiento técnico se ha podido introducir en el Valle de Lluta.

### **Ganadería**

La ganadería se da al nivel de pastoreo de llamas y alpacas en la parte alta de la cuenca. No obstante, en la parte del valle se han instalado granjas de pollos y pavos de las empresas Agrícola Lluta y Tarapacá. Así mismo en el valle se encuentra ganado doméstico de tipo bovino, ovino, caprino, porcinos y equinos.

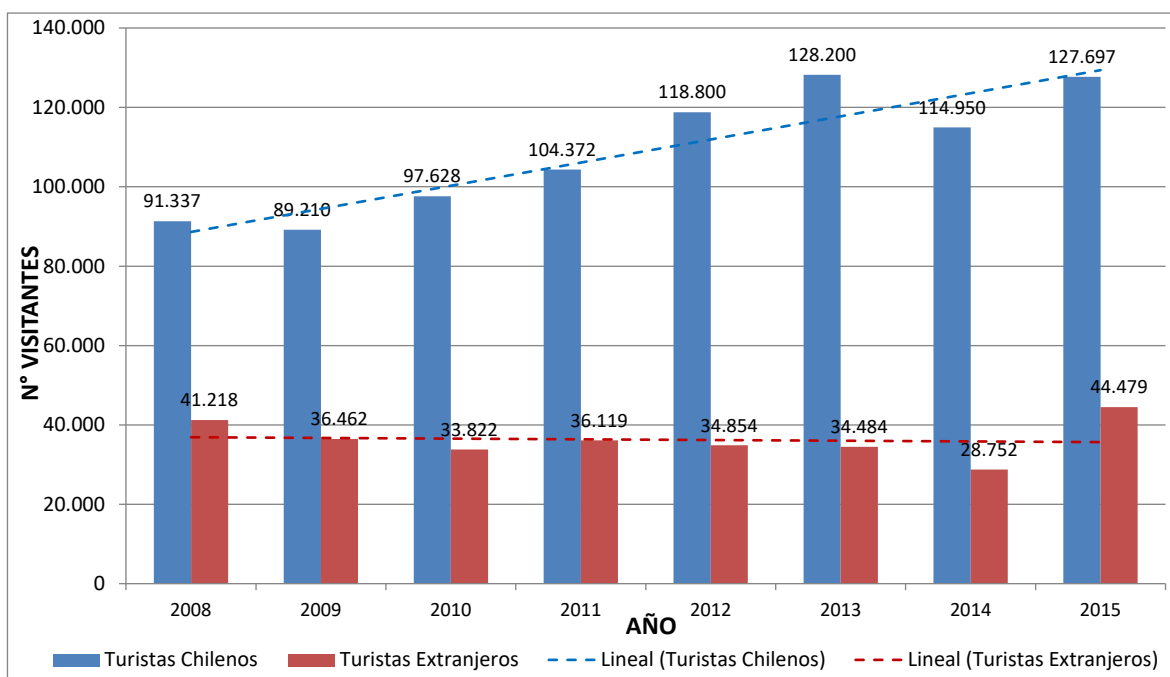
A nivel de proyectos ganaderos ingresados al SEA, se puede mencionar el proyecto de Declaración de Evaluación Ambiental (DIA) de "Planta de Calibre y Ponedoras Automáticas" de la Agrícola Tarapacá que fue aprobado en Sep-2020, cuya inversión es de USD 1,2 millones y en que sus obras se ubican en las laderas del valle de Lluta (Agrícola Tarapacá S.A., 2020).

## **Turismo**

El turismo rural ha tenido un crecimiento importante durante la última década, en el que la ciudad de Putre se ha transformado en el principal lugar de acceso para conocer los parajes de la cordillera y el altiplano. Es por ello que actualmente Putre cuenta con más de quince hoteles, hosterías y hostales (GORE Arica y Parinacota, 2018).

El Gobierno Regional de Arica y Parinacota (GORE Arica y Parinacota, 2018) ha informado en su Plan Regional las cifras de visitantes nacionales y extranjeros, cuyas cantidades y tendencias se puede observar en la Figura 2.26, y en el que existe un aumento sostenido en el número de visitantes nacionales a la Región de Arica y Parinacota. Sin embargo, la tendencia de los visitantes extranjeros no lo es del todo clara, destacando la gran afluencia de éstos en el año 2015.

A nivel de proyectos turísticos presentados al SEA, se puede mencionar el proyecto de la DIA de "Construcción y Operación de Observatorio Astronómico para Fines Educativos y Turísticos UTA" de la Universidad de Tarapacá que fue aprobado en Feb-2011, y cuya inversión es de USD 1,1 millones y en que sus obras se ubican en la cabecera de la quebrada Cardones (UTA, 2011).



Fuente: GORE Arica y Parinacota (2018)

**Figura 2.26 Turistas nacionales y extranjeros con alojamiento en la Región de Arica y Parinacota.**

## **Minería**

La cuenca cuenta con pequeñas actividades de minería extractiva y de procesamiento, sin embargo, existen algunos yacimientos que han cesado su producción, como las azufreras del volcán Tacora, y otros prospectos que se encuentran como concesiones mineras que aún no han obtenido su Resolución de Calificación Ambiental. No obstante, en el sector peruano y frente al volcán Tacora se ubica el yacimiento aurífero de Pucamarca.

En la parte media baja se encuentra la Planta de Proceso El Aguila de Quiborax, una industria minera no metálica que procesa la ulexita, que es extraída desde el Salar de Surire para obtener ácido bórico y productos agroquímicos. En la parte baja de la cuenca se encuentra la empresa minera no metálica Imerys Chile, la que produce diatomita desde la extracción de la mina Carol, cuyo mineral es transportado a la planta Lluta y sometido a molienda, calcinación y clasificación, para obtener el producto final que se comercializa como filtrante en mercados nacionales y extranjeros. En la misma parte baja de la cuenca se ubican un par de empresas que producen bentonita, cuyo material extraen y procesan en la misma subcuenca de Lluta Bajo.

A nivel de proyectos mineros ubicados en la cuenca del río Lluta e ingresados al SEA durante los últimos 10 años, y tal como se puede observar en la Tabla 2.23, se pueden mencionar varios proyectos de DIA que han sido ingresados por Quiborax S.A. y aprobados por la autoridad, con inversiones importantes. Por otra parte, se puede mencionar el EIA del proyecto Manganeso Los Pumas que fue finalmente rechazado.

**Tabla 2.23 Proyectos Mineros ubicados en la cuenca del río Lluta e ingresados al SEA de la Región de Arica y Parinacota.**

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Titular</b>	<b>Inversión US\$Mm</b>	<b>Fecha Presentación</b>	<b>Estado</b>
Ampliación Botadero de Ripios Quiborax S.A. (Quiborax S.A., 2017)	DIA	QUIBORAX S.A.	0,28	21-04-2017	Aprobado
Modificación Proyecto Planta El Águila (Quiborax S.A., 2012)	DIA	QUIBORAX S.A.	23,7	16-03-2012	Aprobado
Proyecto Manganeso Los Pumas (MINERA HEMISFERIO SUR S.C.M., 2011)	EIA	MINERA HEMISFERIO SUR S.C.M.	100	26-08-2011	Rechazado
Labores de Extracción Manual de Ulexita en Salar de Colpitas (Quiborax S.A., 2000)	DIA	QUIBORAX S.A.	0,07	28-09-2000	Aprobado

Fuente: elaboración propia.

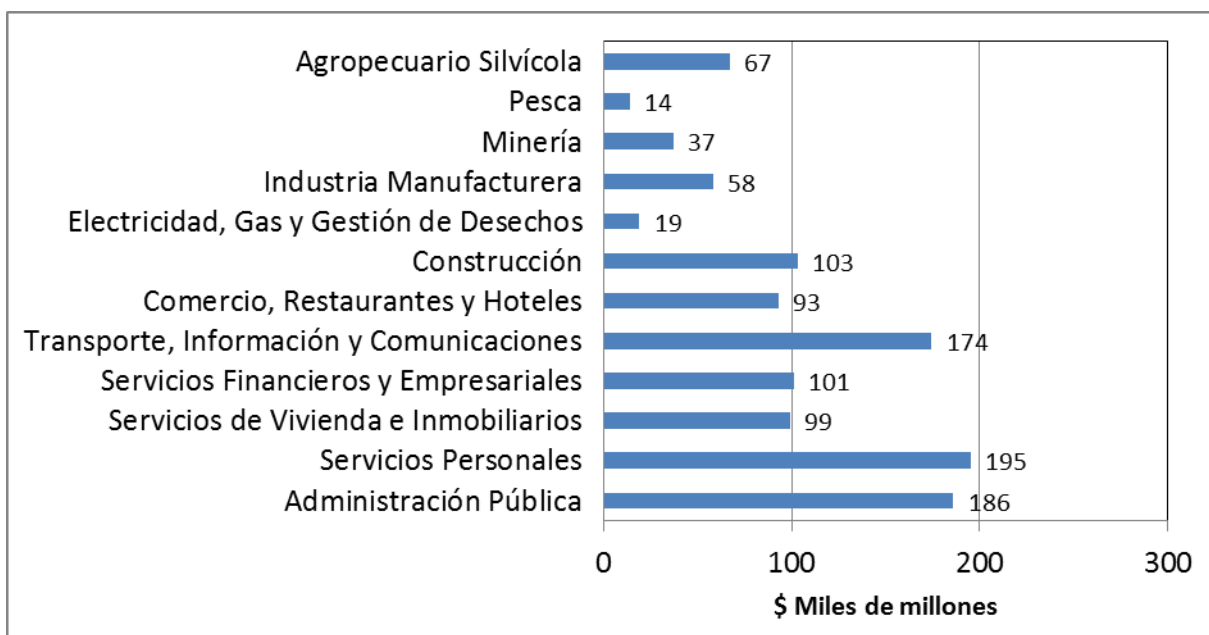
## **Industria**

La poca y pequeña industria se ubica en la salida de la cuenca, a la altura de la panamericana, donde se ha desarrollado el Parque Industrial Puerta América, y se han instalado algunas empresas como una fábrica de cemento, una Planta de hormigón prefabricado, una embotelladora de agua y otras de índole de procesadoras y comerciales.

A nivel de proyectos industriales menores presentados al SEA, se puede mencionar el proyecto de la DIA de "Ampliación de la inversión y relocalización de la empresa alimentos finos Rila Chile Ltda." del titular Frank Richter que fue aprobado en el 2008, y cuya inversión es de USD 1,2 millones y cuyas obras se ubican en el Parque Puerta América.

### **Economía regional**

El Producto Interno Bruto (PIB) de la región de Arica y Parinacota es el segundo más bajo del país (0,8%) después de la región de Aysén en el año 2016 (GORE Arica y Parinacota, 2018). En términos de aporte al PIB regional, y de acuerdo a lo que se observa en la Figura 2.27, las actividades económicas más relevantes son Servicios personales (17,02%), Administración Pública (16,23%) y Transporte y Telecomunicaciones (15,18%). Por otra parte, las actividades económicas que menos aportan son Pesca (1,22%), Electricidad, Gas y Agua (1,66%) y Minería (3,23%). De éstas, pocas actividades se dan en la cuenca del río Lluta, las cuales se detallaron anteriormente, siendo la agricultura la más importante, pero cuyo aporte es bajo.

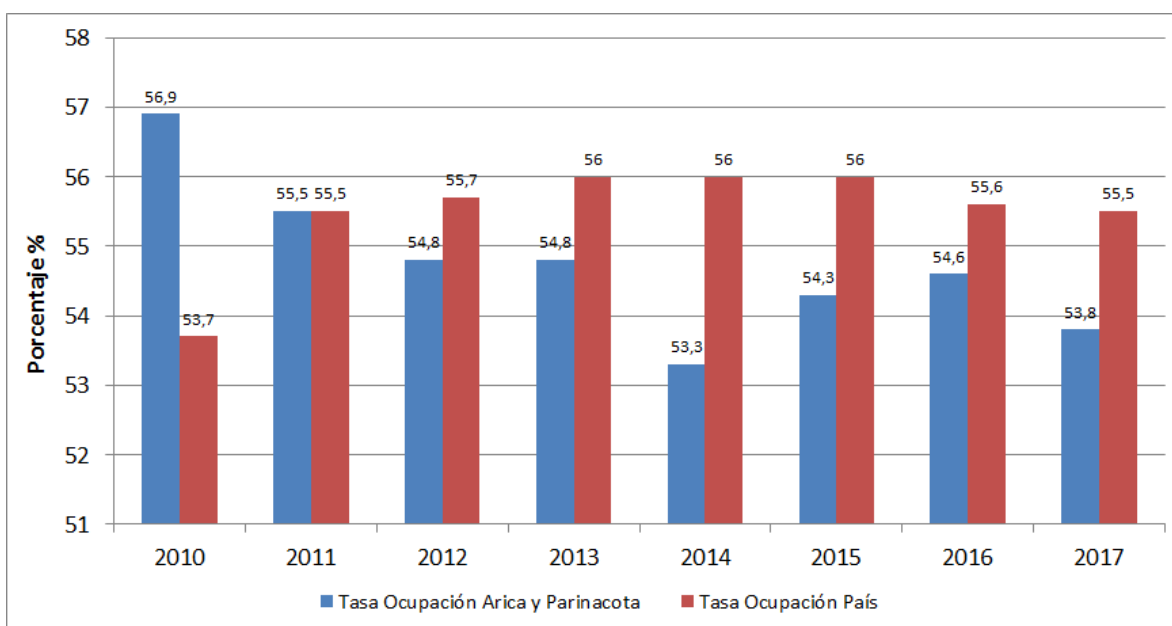
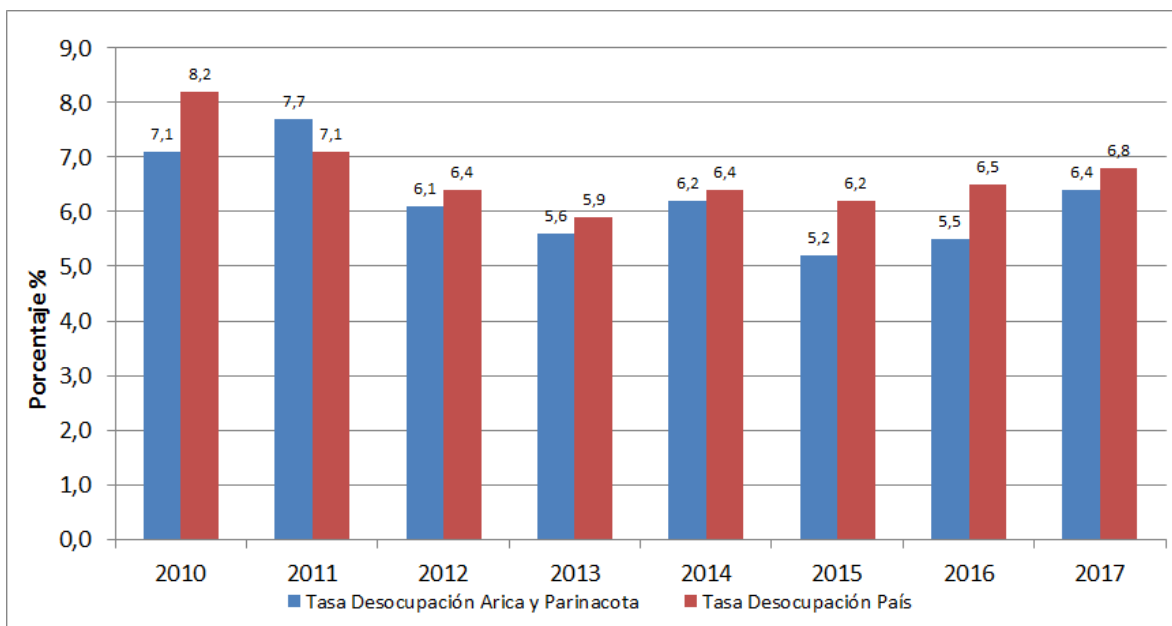


Fuente: GORE Arica y Parinacota (2018).

**Figura 2.27 PIB de la región de Arica y Parinacota por clase de actividad económica anual, volumen de precios del año anterior encadenado 2015 en miles de millones.**

De acuerdo a lo informado por el INE y expuesto por el GORE Arica y Parinacota (GORE Arica y Parinacota, 2018), y según se puede observar en la Figura 2.28, la tasa de desocupación anual de la región de Arica y Parinacota tiene una tendencia decreciente desde el año 2010 al 2016, considerando los datos a nivel país y comparándolos con la Región, este se encuentra por debajo de la media nacional para los periodos en la

mayoría de los años analizados, a excepción del 2011, cuya tasa anual promedio fue de 7,7% versus el 7,1% nacional. Esto nos indica que la Región posee un menor porcentaje de personas en edad de trabajar sin empleo respecto al promedio del País, registrando una tasa de desempleo media de 6,2% durante el periodo mostrado.



Fuente: GORE Arica y Parinacota (2018)

Nota: En la Figura de la Tasa de Ocupación Anual, el eje no comienza en 0.

**Figura 2.28 Tasa de Desocupación Anual (Gráfico Superior) y Tasa de Ocupación Anual Región de Arica y Parinacota (Gráfico Inferior).**

La Tasa de Ocupación anual promedio, nos muestra una tendencia decreciente, desde el 2010 al 2017, es decir, hay un menor porcentaje de personas con edad de trabajar con

un trabajo, en comparación con la situación del promedio de la tasa nacional. Su más bajo registro se observa en el año 2014, situación que se mejora en los años siguientes.

De acuerdo a la proyección de actividades económicas del GORE Arica y Parinacota (2018) presentada en la Tabla 2.24, las actividades que concentran la mayor parte de ésta son el comercio al por mayor y menor en conjunto con actividades de reparación de vehículos automotores y motocicletas con un 17,4%, seguido por la actividad agrícola, ganadera, silvicultura y pesca con un 13,9%. El resto de actividades importantes para la distribución del empleo no concentran más del 10% de la fuerza de trabajo ocupada, aunque no dejan de ser relevantes la enseñanza (9,9%), la Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria (8,0%), Transporte y almacenamiento (7,9%), Construcción (7,6%), entre otras.

A nivel de la cuenca del río Lluta, tal como se comentó en el detalle de actividades, la mayor ocupación se da principalmente en la agricultura, luego en la minería y finalmente en un pequeño orden en la industria.

**Tabla 2.24 Proyección Informe 2014 Población Región Arica y Parinacota.**

Rama de actividad económica	% Ocupados			
	2013	2014	2015	2016
Comercio al por mayor y menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas	21,3%	19,2%	16,0%	17,4%
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	12,6%	11,6%	12,1%	13,9%
Enseñanza	7,8%	7,7%	8,9%	9,9%
Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria	6,3%	6,9%	9,0%	8,0%
Transporte y almacenamiento	7,5%	8,7%	8,3%	7,9%
Construcción	4,2%	6,1%	5,6%	7,6%
Industrias manufactureras	7,4%	8,7%	7,8%	5,9%
Explotación de minas y canteras	8,5%	6,7%	7,7%	5,4%
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas	5,9%	5,8%	6,1%	5,3%
Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social	4,4%	4,2%	4,5%	4,1%
Actividades de los hogares como empleadores; actividades no diferenciadas de los hogares como productores de bienes y servicios para uso propio	2,9%	2,2%	3,1%	3,4%
Otras actividades de servicios	3,6%	3,5%	2,4%	2,3%
Actividades profesionales, científicas y técnicas	2,3%	2,4%	2,3%	2,3%
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	1,3%	2,0%	2,1%	2,2%
Actividades inmobiliarias	0,5%	0,6%	0,5%	1,0%
Actividades financieras y de seguros	0,8%	0,8%	1,0%	0,9%
Información y comunicaciones	1,2%	1,4%	1,2%	0,9%
Actividades artísticas, de entretenimiento y recreativas	0,8%	0,6%	0,7%	0,7%
Suministro de agua; evacuación de aguas residuales, gestión de desechos y descontaminación	0,4%	0,3%	0,4%	0,6%
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	0,2%	0,5%	0,4%	0,4%
Actividades de organizaciones y órganos extraterritoriales	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fuente: GORE Arica y Parinacota (2018).

Respecto a las exportaciones que se dieron en el último año en la región de Arica y Parinacota (INE, 2020), en mayo de 2020 las exportaciones regionales alcanzaron los 17,7 millones de dólares, con una variación interanual de 13,1%, y una acumulada de 15,6%. Las principales incidencias del período corresponden a los sectores Industria y Resto Exportaciones con variaciones interanuales de 26,1% y 438,6%. En la cuenca del

río Lluta las exportaciones están ligadas a la minería propiamente tal, ya que la agricultura es de consumo interno nacional.

## 2.2 Clima

A continuación, se presentarán los aspectos climáticos de la cuenca del río Lluta, entre los que se cuentan la caracterización climática, eventos extremos, variabilidad climática y cambio climático.

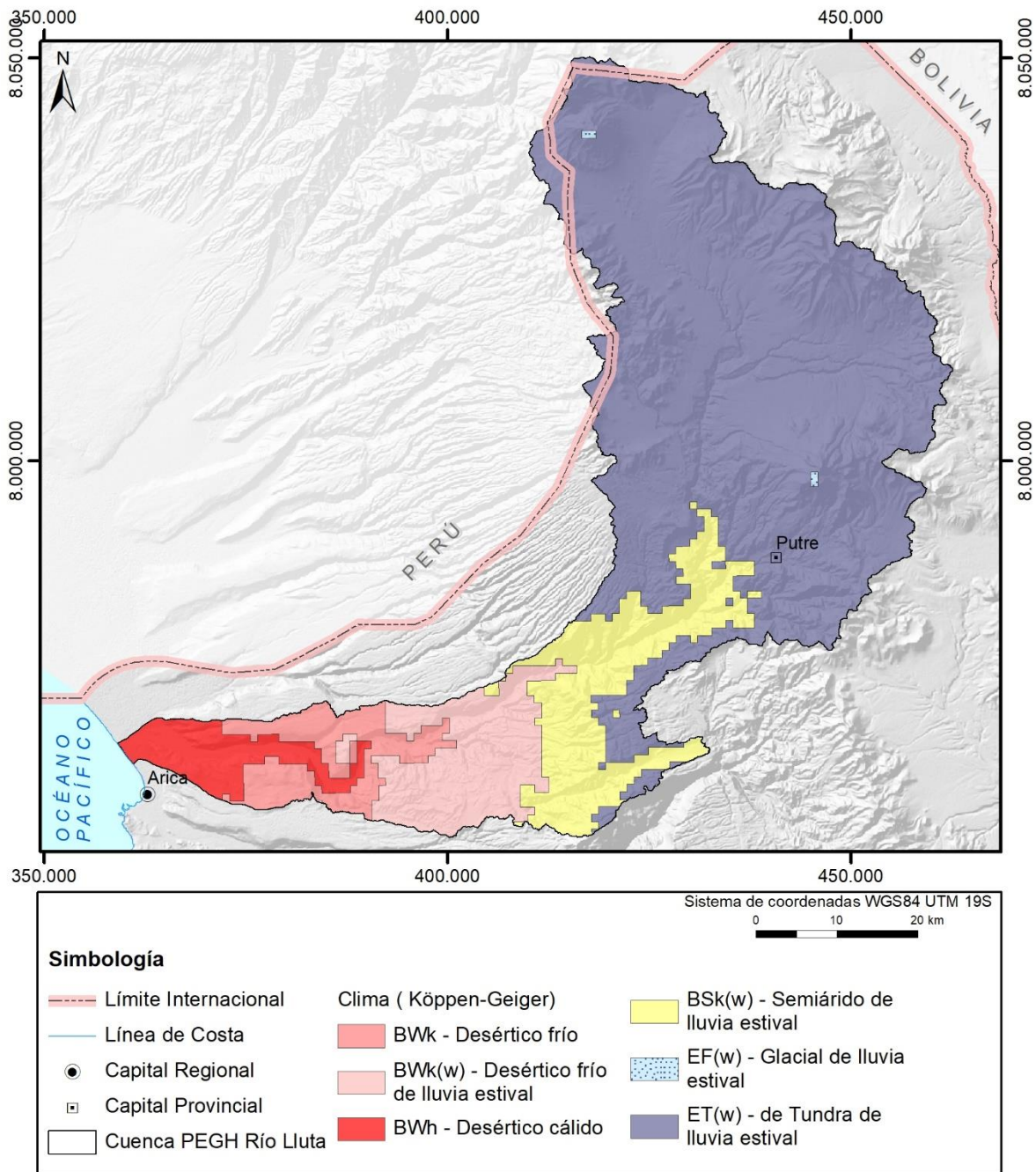
### 2.2.1 Caracterización climática

Según el mapa de Sarricolea et al. (2017), la cuenca del río Lluta presenta condiciones climáticas de extrema aridez que se manifiestan especialmente en la depresión intermedia y en las cuencas cordilleranas. Desde la costa hasta la cordillera se presentan variaciones climáticas dispuestas en franjas longitudinales (Figura 2.29), las que a continuación se describen por categorías, según la clasificación climática de Köppen.

El **clima desértico cálido** se presenta en todo el sector costero caracterizándose por la nubosidad que se intensifica en invierno y la alta humedad que aporta el mar, que a su vez en contacto con los farellones costeros permite un aprovechamiento de las camanchacas o neblinas mediante atrapa nieblas que captan el agua. De esta manera, la alta humedad por la proximidad del mar y el efecto moderador de la corriente de Humboldt, producen bajas amplitudes térmicas tanto diarias como anuales, manteniéndose durante el año temperaturas entre 20 y 25°C.

El **clima desértico frío** se presenta a partir de los 1.000 m s.n.m., caracterizado por la muy baja humedad relativa, cielos permanentemente despejados, grandes cambios de temperatura entre el día y la noche y la ausencia de precipitaciones. A pesar de su cercanía con la fuente de vapor de agua que representa el océano Pacífico, existen dos factores que condicionan la aridez, por una parte, está la influencia del anticiclón del Pacífico sur que bloquea el paso de sistemas frontales, y, por otro, el efecto barrera de la cordillera de los Andes que impide la entrada de las masas de aire húmedas que provienen del sector tropical continental. Así mismo, la alta radiación solar y la emisión nocturna de radiación infrarroja desde la superficie, explican el fuerte contraste térmico entre el día y la noche, con temperaturas que varían desde los 25°C en el día a los -15°C durante la noche. Cuando se tienen fuertes precipitaciones en época de verano, este clima toma el nombre de clima **desértico frío de lluvia estival**.

El **clima semiárido** se presenta entre los 2.000 y 3.000 m s.n.m. El régimen de precipitaciones es mezclado, observándose precipitaciones estivales y de origen ciclónico, aunque escasas en ambos casos. Las de origen ciclónico se presentan con intervalos de varios años, cuando suceden inviernos pluviométricamente rigurosos en la zona central del país. En estos casos, suelen ser mayores a las del verano. Debido a la altura, las temperaturas son relativamente frías, con un promedio no superior a los 10°C, en el que las oscilaciones térmicas anuales se atenúan, pero las diarias aumentan.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Sarricolea et al. (2017).

**Figura 2.29 Clasificación climática de Köppen en la región de Arica y Parinacota.**

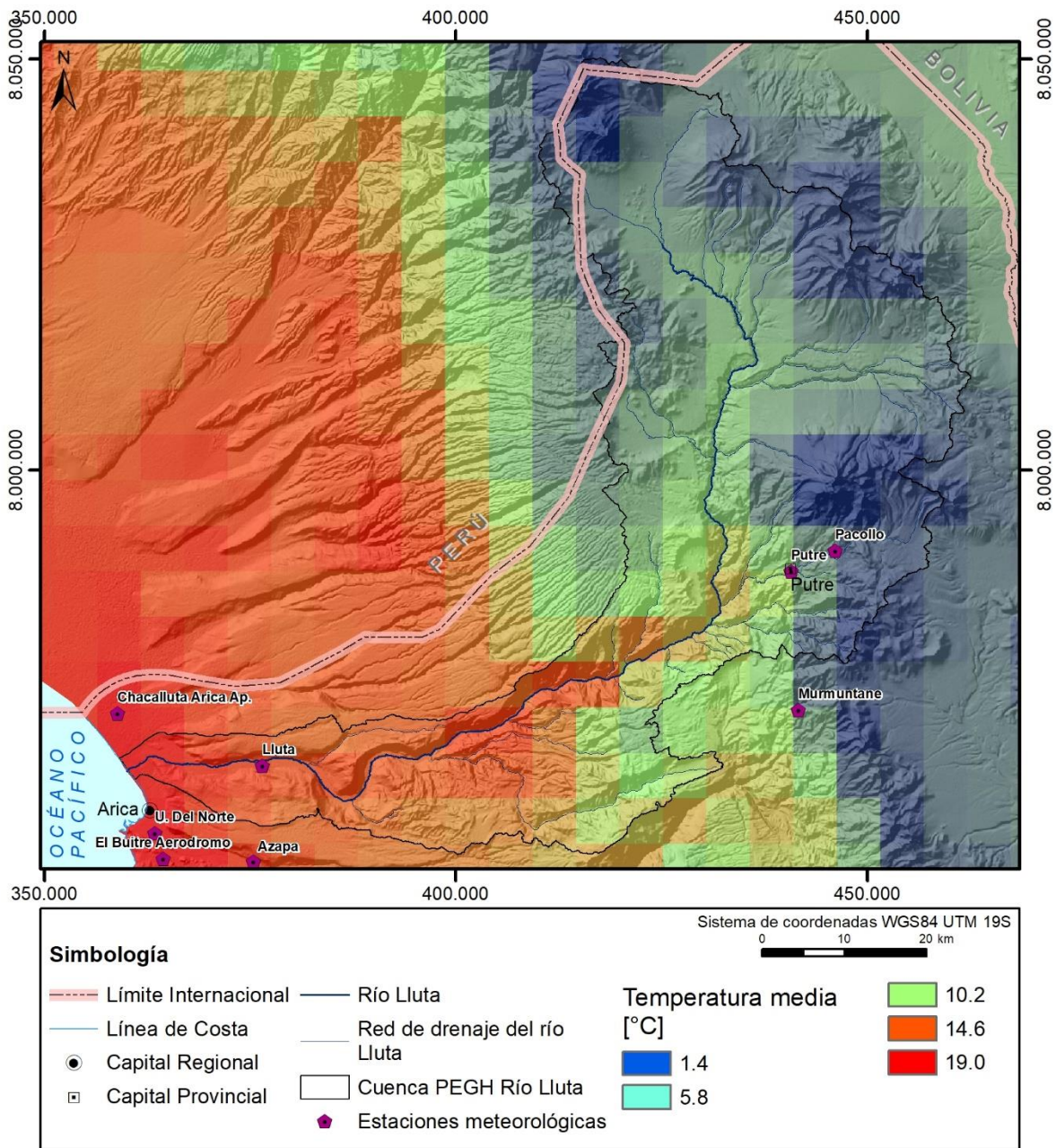
Por su parte, a partir de los 3.000 m s.n.m. se presenta el **clima frío de tundra por altura de lluvia estival**. La elevada altitud hace que las temperaturas sean muy frías, las temperaturas medias no sobrepasan los 5°C y que se produzca una gran amplitud térmica entre el día y la noche. La principal característica es el aumento de las precipitaciones, las más importantes ocurren en las tardes de verano y son los llamados

inviernos altiplánicos de origen convectivo, provenientes de nubosidad producida por el ascenso de masas de aire cargadas de humedad por la ladera oriental de los Andes, que tiene origen en la cuenca amazónica y en el Atlántico. En algunos sectores se registran hasta los 400 mm de precipitación en el año, alguna de ella en forma de nieve.

A partir de los 5.700 m s.n.m., las temperaturas hacen que las nieves sean perpetuas, caracterizando las cumbres más elevadas de la región, con una humedad relativa en general baja, tipo de clima que se denomina **glacial de lluvia estival**.

De acuerdo al análisis del producto satelital CR2MET v2, el cual ha sido comparado con los datos registrados en las estaciones DGA (ver sección 5.2.2 del Anexo H), la temperatura media anual registrada en el sector bajo de la cuenca, es cercana a los 19°C, mientras que alcanza valores menores a 0°C en las zonas más altas. La variabilidad de la temperatura en la cuenca entre ambos sectores, se presenta en la Figura 2.30.

Por otra parte, la precipitación media anual en la cuenca, aumenta gradualmente desde 0 mm en el sector bajo, a valores superiores a los 380 mm en el sector alto de la cuenca (Figura 2.8). Estos montos de precipitación, como muestra la Figura 2.9, se concentran en temporada estival producto del llamado invierno altiplánico.



Fuente: elaboración propia en base a antecedentes CR2MET v2.

**Figura 2.30 Distribución de la temperatura media anual (CR2MET v2) en la Cuenca del Río Lluta (1985-2019).**

### 2.2.2 Eventos extremos y variabilidad climática

En este acápite se presenta la información respecto a los eventos extremos y la variabilidad climática, caracterizando los eventos extremos con un análisis de frecuencias para estimar la precipitación máxima en 24 horas y el caudal máximo anual.

### **Caracterización de eventos extremos**

Los aluviones son el evento extremo más patente en la cuenca del Río Lluta. La ocurrencia de aluviones como eventos torrenciales de cierta consideración, ha traído importantes consecuencias en el Valle de Lluta Bajo en el pasado, sobre todo al sector agrícola, dado el uso de llanuras de inundación muy cercanas al río, como zonas de cultivos. Lo anterior viene dado por los altos volúmenes de material que arrastran las crecidas, produciendo la erosión del cauce, terrenos adyacentes y suelos agrícolas aledaños, lo que determina la pérdida de suelos productivos y sus cultivos, además de daños en bocatomas y sistemas de riego (Ortega et al., 2007).

Las pérdidas en la agricultura no son únicas ni las más importantes de las provincias de Arica, ya que estos aluviones destruyen también infraestructura pública (camino, vías férreas y redes de agua potable), producen daños en la ciudad y en otros asentamientos humanos rurales; son los responsables del embancamiento del puerto comercial, del deterioro de playas y de su entorno litoral como consecuencia del arrastre de material particulado sedimentable hacia el ambiente acuático marino (Ortega et al., 2007).

Ejemplo de lo anterior es el evento ocurrido en febrero del año 2001 la cual arrasó con infraestructura y gran parte de los cultivos del Valle de Lluta (El Mercurio, 2001). En la Tabla 2.25 se indican algunos eventos reportados en los medios de difusión.

**Tabla 2.25 Reportes de crecidas en el Río Lluta en medios de difusión**

<b>Fecha</b>	<b>Registro</b>
Feb. 2001	Crecida del río Lluta afectó 2600 hectáreas de cultivo (El Mercurio, 2001)
Feb. 2012	Desborde en la desembocadura del río Lluta (Primera Vista, 2012)
Feb. 2015	Preocupación por personas Aisladas por Violenta Bajada del río Lluta (Arica al día, 2015)
Feb. 2016	Dispusieron maquinaria para proteger puntos más críticos tras la crecida del río Lluta (Arica Mía, 2016)
Mar. 2017	MOP y ONEMI asisten a vecinos de Alto Lluta por crecida del río (GORE Arica y Parinacota, 2017)

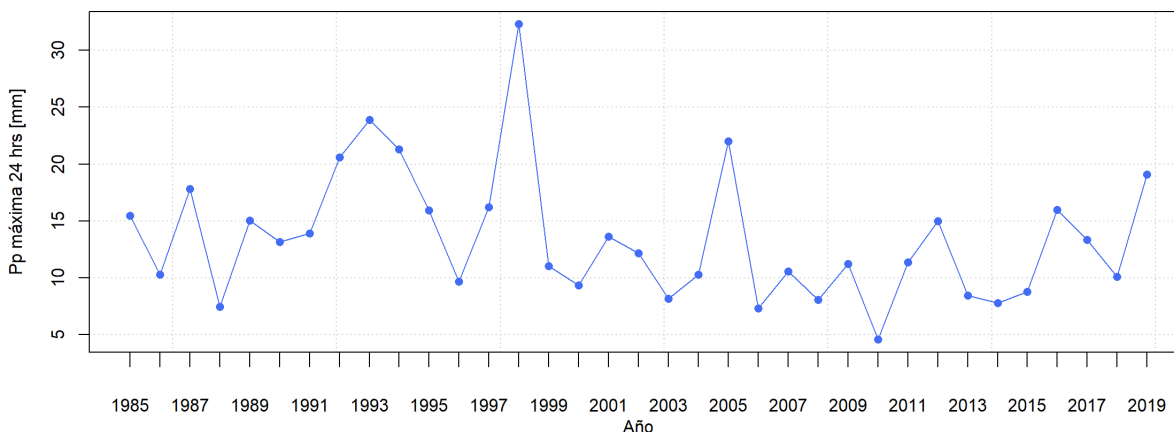
Fuente: elaboración propia.

La ocurrencia de estos eventos extremos puede o no tener relación con la cantidad de lluvia del Invierno Altiplánico, pues si se observan los valores de precipitación anual presentados en la Figura 2.7, se tiene que los años 2001, 2012 y 2017, donde se reportaron crecidas importantes (Tabla 2.25), efectivamente fueron muy lluviosos con valores por sobre el promedio. Sin embargo, para los eventos de los años 2015 y 2016 (Tabla 2.25), se tiene que la precipitación media anual está por debajo del promedio histórico, lo que hace suponer que los eventos de crecida fueron desencadenados por lluvias cortas de alta intensidad.

### **Análisis de frecuencia: precipitación máxima en 24 horas**

En la Figura 2.31 se muestra la serie de precipitaciones máximas en 24 horas en la Cuenca del Río Lluta. Los valores son representativos a nivel de cuenca, y han sido determinados a partir del producto de precipitación descrito en la sección 5.1.3.3 del Anexo H. Cada valor representa el valor máximo anual de precipitación diaria multiplicado por un factor de 1,06, dado que la precipitación medida en un día

corresponde a un 78% -100% del valor de precipitación máxima en 24 horas (Stöwhas, 2017).



Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.31 Serie de precipitaciones máximas en 24 horas (1985-2019)**

Se realizó un análisis de frecuencia para la precipitación máxima en 24 horas, considerando las distribuciones Log-Normal, Pearson, Log-Pearson y Gumbel. Para evaluar el desempeño de las distribuciones, se realizó el test chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) con un 5% de nivel de significancia, donde la hipótesis nula corresponde a una igualdad entre valores empíricos y los valores teóricos según cada distribución. En la Tabla 2.26 se muestran los resultados de este análisis.

**Tabla 2.26 Resultados de análisis de frecuencia para precipitación**

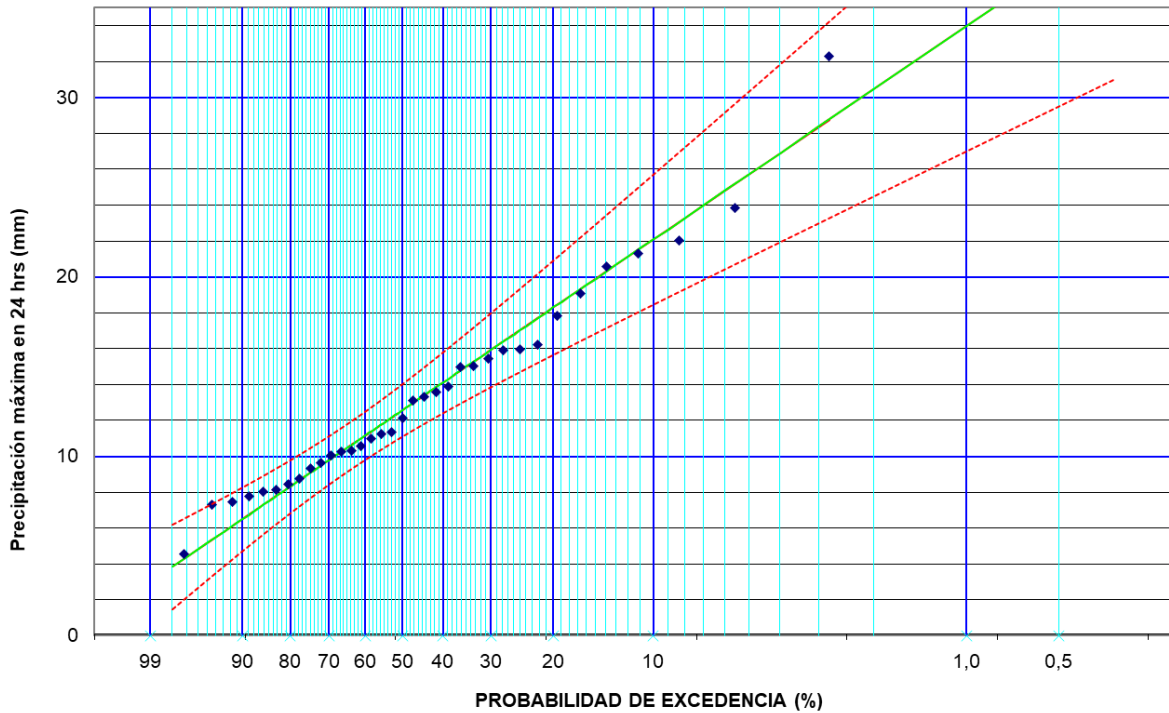
Período de Retorno (años)	Precipitación Máxima Anual en 24 Horas (mm)			
	Log-Normal	Pearson	Log-Pearson	Gumbel
2	12,4	12,3	12,4	<b>12,6</b>
5	17,5	17,6	17,4	<b>18,3</b>
10	20,9	21,1	20,9	<b>22,1</b>
20	24,2	24,4	24,4	<b>25,7</b>
25	25,3	25,4	25,5	<b>26,9</b>
50	28,6	28,6	28,9	<b>30,4</b>
100	31,9	31,7	32,5	<b><u>34,0</u></b>
200	35,3	34,8	36,1	<b>37,5</b>
300	37,3	36,5	38,3	<b>39,5</b>
<b>chi2(calculado)</b>	0,33	0,23	0,61	<b>0,41</b>
<b>chi2(0,05)</b>	5,99	3,84	3,84	<b>5,99</b>
<b>Hipótesis nula</b>	No se rechaza	No se rechaza	No se rechaza	<b>No se rechaza</b>

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 2.26, ninguna de las distribuciones consideradas es rechazada por el test  $\chi^2$ , estando los estadísticos por debajo del límite para un nivel de significancia del 5%. Las estimaciones teóricas según cada distribución no son muy disímiles entre sí, siendo los valores más conservadores los calculados con la distribución de Gumbel. Por lo anterior, se ha elegido a la distribución de Gumbel para caracterizar las precipitaciones máximas en 24 horas, siendo 34 mm para un periodo de retorno de 100 años. Es importante reiterar que estos valores son representativos a nivel de

cuenca, mas no para un punto específico como suele hacerse cuando se utilizan directamente datos de estaciones.

En la Figura 2.32 se comparan los valores teóricos según la distribución de Gumbel y los valores empíricos, junto a los intervalos de confianza estimados con un nivel de significancia del 5%.

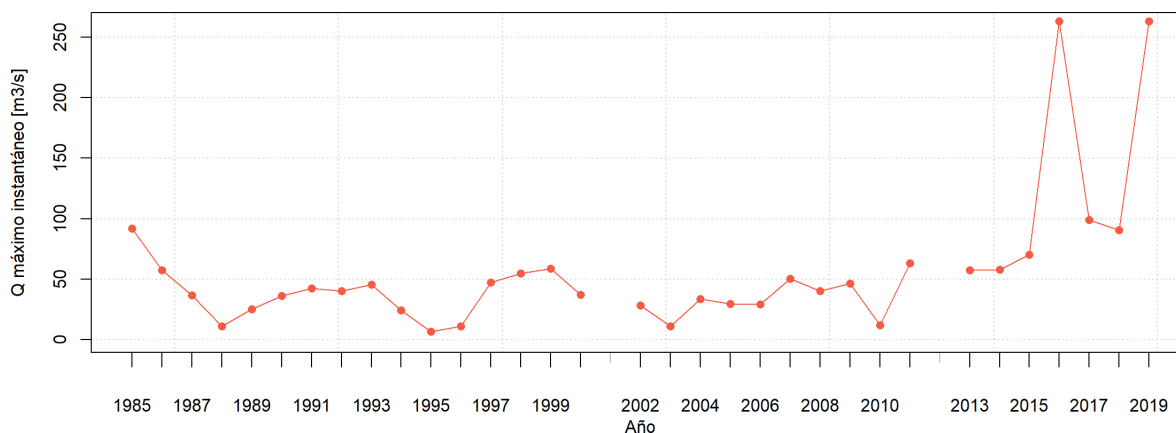


Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.32 Comparación de valores teóricos a partir de la distribución de Gumbel (línea verde), valores empíricos (puntos) e intervalos de confianza (líneas puntadas rojas), para la precipitación máxima en 24 hrs.**

### **Análisis de frecuencia: caudal máximo anual**

En la Figura 2.33 se muestra la serie de caudales máximos anuales en la estación Río Lluta en Panamericana. Los valores son representativos a nivel de cuenca, ya que la estación se encuentra cercana a la desembocadura. En la serie se omitieron los caudales instantáneos máximos en los años 2001 y 2012, ya que hay antecedentes de crecidas que no fueron registrados por la estación.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.33 Serie de caudales instantáneos máximos anuales (1985-2019)**

Se realizó un análisis de frecuencia para el caudal instantáneo máximo anual, considerando las distribuciones Log-Normal, Pearson, Log-Pearson y Gumbel. Al igual que con la precipitación, para evaluar el desempeño de las distribuciones, se realizó el test chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) con un 5% de nivel de significancia, donde la hipótesis nula corresponde a una igualdad entre valores empíricos y los valores teóricos según cada distribución. En la Tabla 2.27 se muestran los resultados de este análisis.

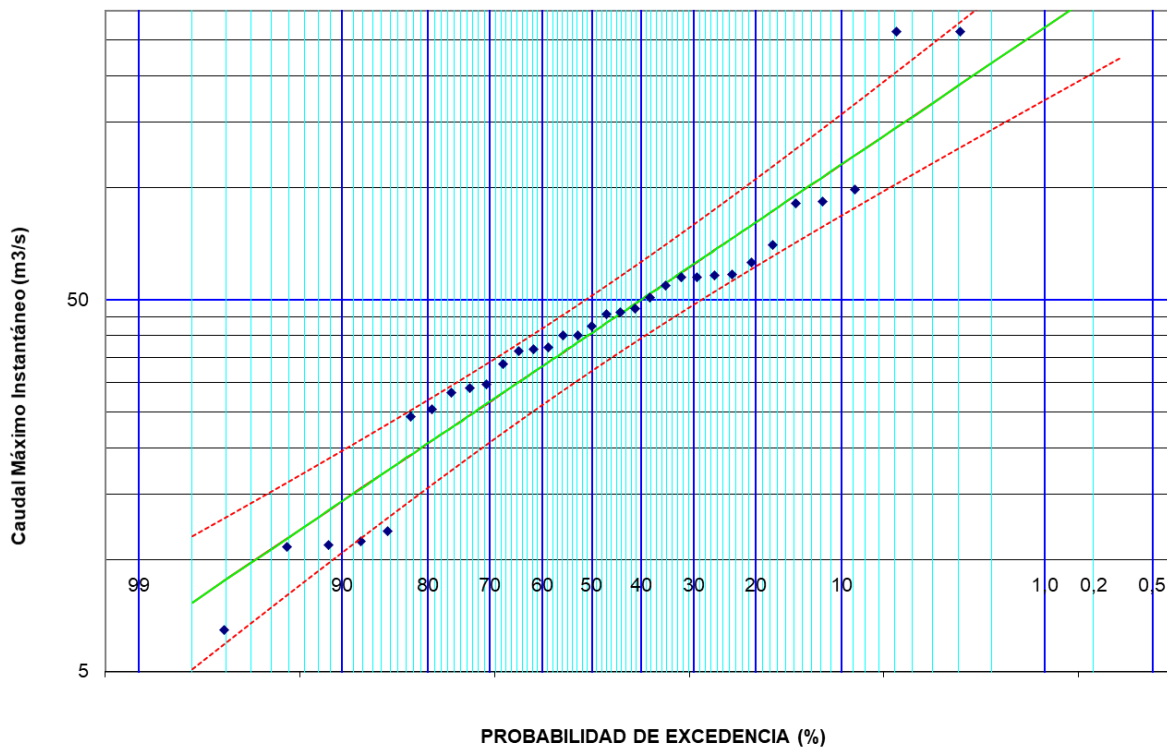
**Tabla 2.27 Resultados de análisis de frecuencia para caudal**

Período de Retorno (años)	Caudal instantáneo máximo anual ( $m^3/s$ )			
	Log-Normal	Pearson	Log-Pearson	Gumbel
2	<b>40,77</b>	35,72	40,77	47,76
5	<b>80,82</b>	82,21	80,82	106,37
10	<b>115,61</b>	124,14	115,61	145,18
20	<b>155,37</b>	170,06	155,36	182,41
25	<b>169,34</b>	185,57	169,32	194,21
50	<b>216,68</b>	235,71	216,64	230,59
100	<b>270,46</b>	288,56	270,38	266,70
200	<b>331,29</b>	343,86	331,17	302,67
300	<b>370,39</b>	377,26	370,24	323,69
<b>chi2(calculado)</b>	<b>5,60</b>	4,75	11,66	8,20
<b>chi2(0,05)</b>	<b>5,99</b>	3,84	3,84	5,99
<b>Hipótesis nula</b>	<b>No se rechaza</b>	Se rechaza	Se rechaza	Se rechaza

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 2.27, solo la distribución Log-Normal no es rechazada por el test  $\chi^2$ , estando su estadístico por debajo del límite para un nivel de significancia del 5%. Por lo anterior, se ha elegido a la distribución Log-Normal para caracterizar a los caudales máximos anuales, siendo 270  $m^3/s$  para un periodo de retorno de 100 años.

En la Figura 2.34 se comparan los valores teóricos según la distribución Log-Normal y los valores empíricos, junto a los intervalos de confianza estimados con un nivel de significancia del 5%.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.34 Comparación de valores teóricos a partir de la distribución Log-Normal (línea verde), valores empíricos (puntos) e intervalos de confianza (líneas punteadas rojas), para el caudal instantáneo máximo anual**

### 2.2.3 Escenarios de cambio climático

Las proyecciones climáticas de largo plazo para un período futuro normalmente se obtienen a partir de Modelos de Circulación Global (*Global Circulation Model*, GCMs) o bien a partir de Modelos Regionales de Clima (*Regional Climate Models*, RCMs). Los modelos climáticos son uno de los principales medios con los que la comunidad científica internacional estudia cómo ha cambiado el clima en el pasado y cómo puede cambiar en el futuro. Los modelos climáticos coordinan sus actualizaciones en torno al cronograma de los informes de evaluación del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), publicando un conjunto de resultados de modelos, conocidos como "ejecuciones", en el período previo a cada uno. Estos esfuerzos coordinados son parte de los Proyectos de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP). En particular, el quinto informe de evaluación (AR5) del IPCC de 2013 utilizó modelos climáticos CMIP5.

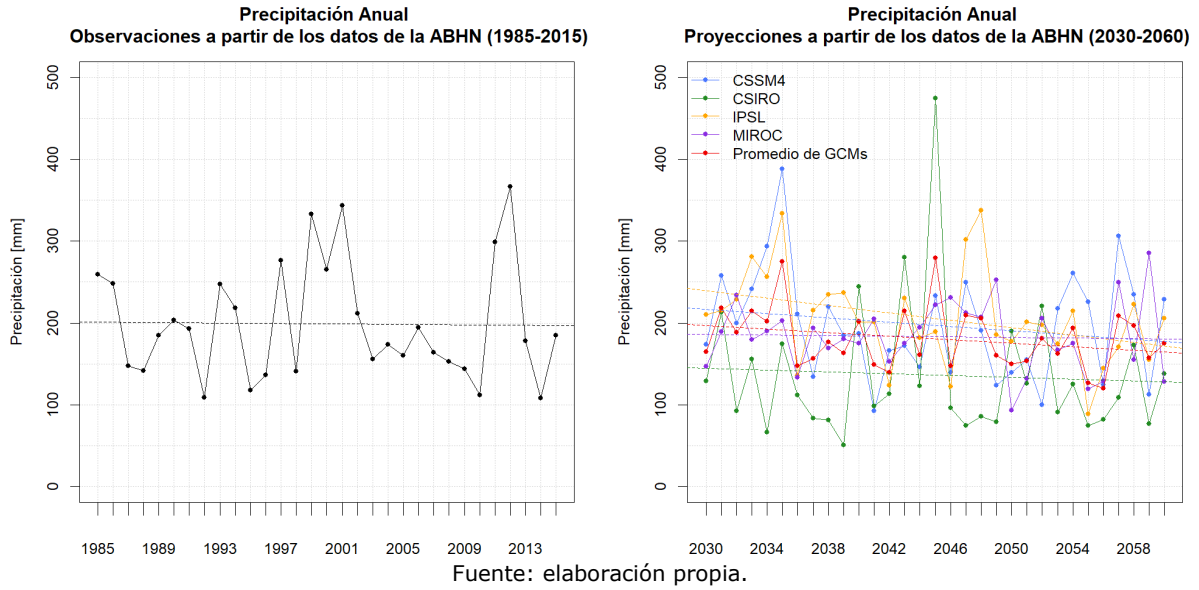
Cada modelo climático utiliza un forzamiento radiativo particular asociado a alguna Trayectoria de Concentraciones Representativa (RCP, por sus siglas en inglés), las cuales representan una trayectoria de concentraciones (no emisiones) de gases de efecto invernadero adoptada por el IPCC. El forzamiento radiativo determina la magnitud del cambio para las variables atmosféricas de interés, las cuales normalmente son temperatura del aire y precipitaciones (DGA, 2017a). La reciente Actualización de Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a) utilizó trayectorias RCP 8.5, lo que indica que la

radiación incidente aumenta en  $8,5 \text{ W m}^{-2}$  hasta el año 2100, respecto de la era preindustrial. Un escenario RCP 8.5 representa, por ejemplo, cambios en las temperaturas de hasta  $+3^{\circ}\text{C}$  y disminuciones hasta del 50 % de las precipitaciones en los casos más extremos. Los escenarios RCP 8.5 corresponden a los escenarios más desfavorables disponibles, pero que resultan ser lo más consistente con los actuales niveles de emisiones en el planeta (DGA, 2017a).

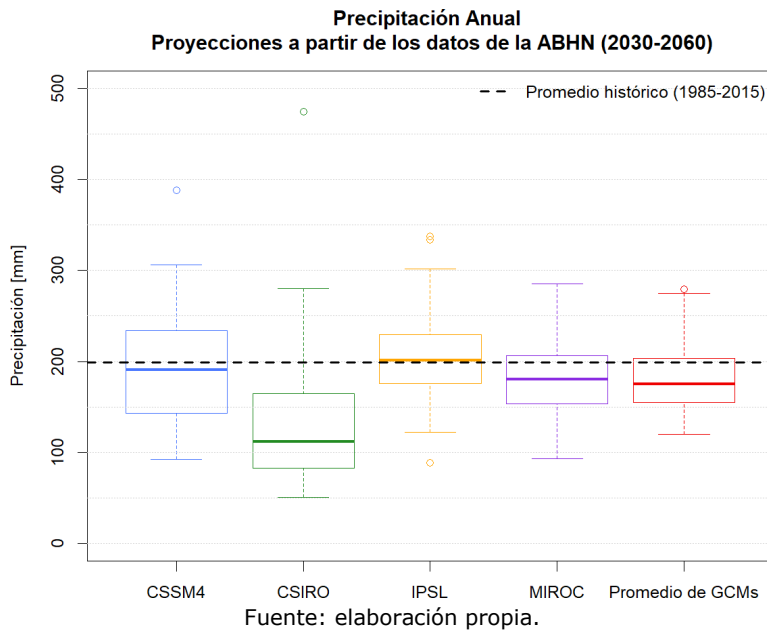
Para caracterizar los efectos del cambio climático en la cuenca se consideró el análisis de precipitación anual, temperatura media del aire anual y escorrentía anual, a partir de los datos del estudio de Actualización del Balance hídrico Nacional (ABHN) (DGA, 2017a, 2018a), tanto en el periodo histórico definido en dicho estudio (1985-2015) y su periodo futuro (2030-2060). Para tener en cuenta en el análisis, las proyecciones del estudio ABHN se basan en el uso de Modelos de Circulación General (GCM, siglas de General Circulation Model), entre los que se consideraron los modelos CSSM4, CSIRO, IPSL y MIROC. Mayores antecedentes sobre estos Modelos de Circulación General y su aplicación a la modelación en el proyecto se incluyen en la sección 8.1.1 del Anexo H.

### **Precipitación anual**

En primer lugar, en la Figura 2.35 se presenta la variación de precipitación anual histórica, así como la proyección para los 4 GCM y su promedio, y en la Figura 2.36 un gráfico boxplot de los resultados en la cuenca. La tendencia para todos los escenarios muestra una pendiente negativa, sin embargo, el escenario IPSL muestra un valor promedio mayor al histórico (ver Tabla 2.28), mientras que el escenario CSIRO es aquel que entrega el menor valor. En promedio, la precipitación media anual generada por GCM entrega un valor de 180 mm, lo que representa una disminución con respecto al escenario histórico.



**Figura 2.35 Precipitación anual histórica y proyecciones derivadas del estudio ABHN, para la cuenca del Río Lluta. En líneas punteadas se marca la línea de tendencia de cada serie temporal.**



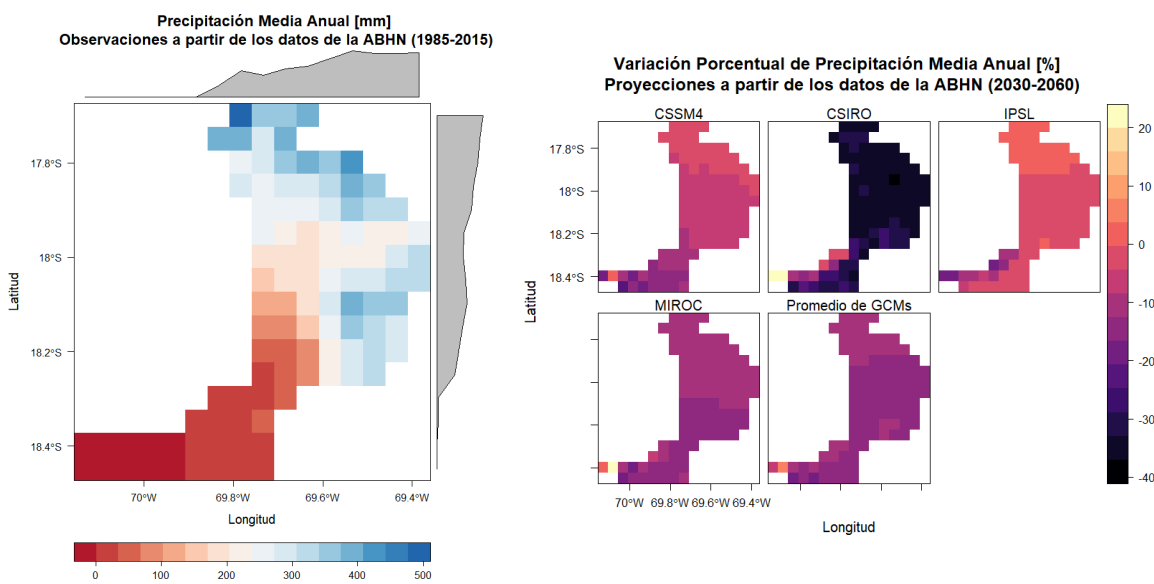
**Figura 2.36 Boxplots para las precipitaciones medias anuales proyectadas en la cuenca del río Lluta, de acuerdo a los GCMs considerados en el estudio ABHN. En línea punteada se representa el valor del periodo histórico.**

**Tabla 2.28 Resumen cuantitativo de la serie histórica (1985-2015) y las series proyectadas, de precipitaciones anuales en la cuenca Río Lluta.**

Estadístico \ Producto	Histórico	CCSM4	CSIRO	IPSL	MIROC	GCMs promedio
Promedio (mm)	198,97	197,03	136,40	205,61	183,32	180,59
Desviación Estándar (mm)	71,14	66,20	84,42	57,17	43,33	37,45
Coefficiente de Variación (-)	0,36	0,34	0,62	0,28	0,24	0,21
Pendiente de la línea de tendencia (mm/década)	-1,29	-13,17	-5,51	-22,40	-1,80	-10,72

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2.37 se muestra la distribución espacial de las precipitaciones medias anuales en la cuenca, las cuales muestran un aumento con la altura, y la variación porcentual futura según cada GCM. En general se observa que la disminución de precipitaciones se presenta para casi toda la cuenca, exceptuando la zona de la descarga (donde las precipitaciones medias actuales son cercanas a los 0 mm), y en particular para el modelo IPSL se observa un comportamiento mixto de zonas con aumento y zonas con disminución de precipitaciones.

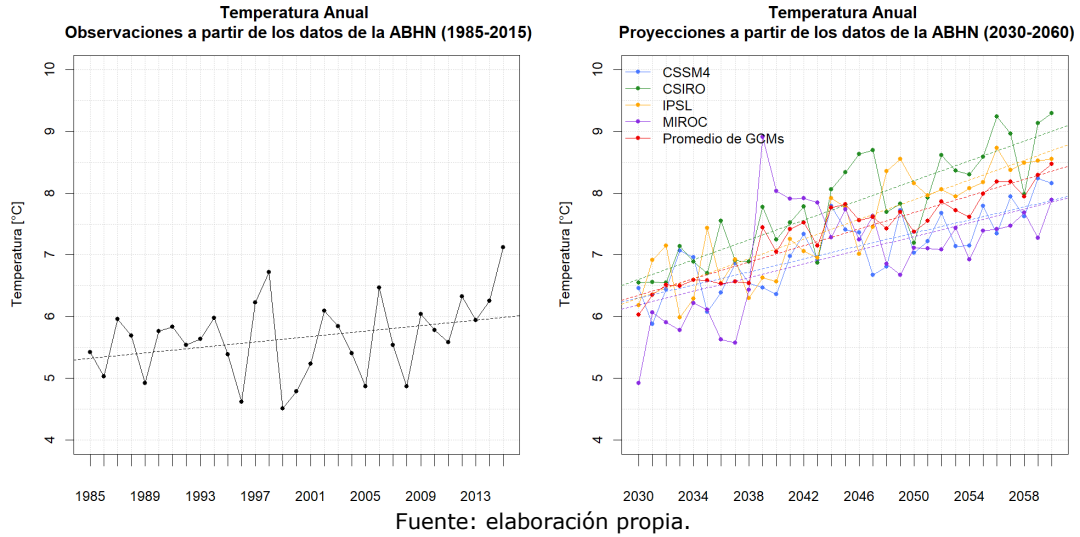


Fuente: elaboración propia.

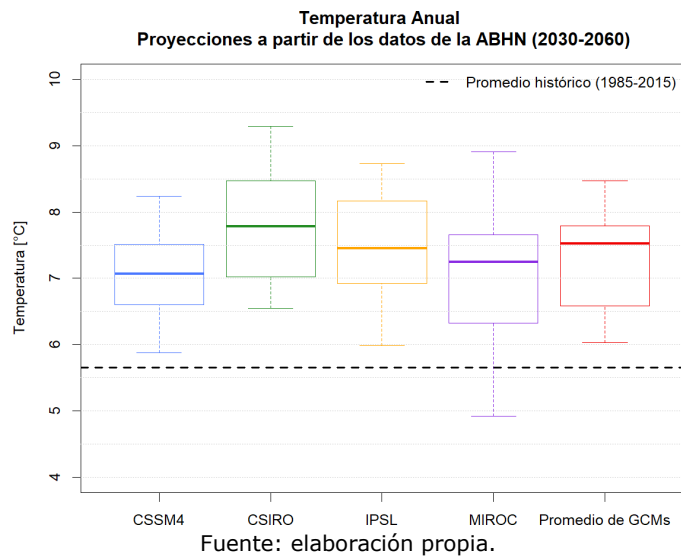
**Figura 2.37 Distribución espacial de la precipitación media anual histórica en la cuenca del Río Lluta, y las correspondientes variaciones porcentuales proyectadas de acuerdo a los GCMs considerados en el estudio ABHN.**

### Temperatura media anual

En la Figura 2.38 se presenta la variación de temperatura anual histórica, así como la proyección para los 4 GCM y su promedio, y en la Figura 2.39 un gráfico boxplot de los resultados en la cuenca. La tendencia para todos los escenarios muestra una pendiente positiva, continuando con la variación de la tendencia histórica observada. La mayor alza la entrega CSIRO, mientras que el menor valor lo entrega MIROC (ver Tabla 2.29).



**Figura 2.38** Temperatura media anual histórica y proyecciones derivadas del estudio ABHN, para la cuenca del Río Lluta. En líneas punteadas se marca la línea de tendencia de cada serie temporal.



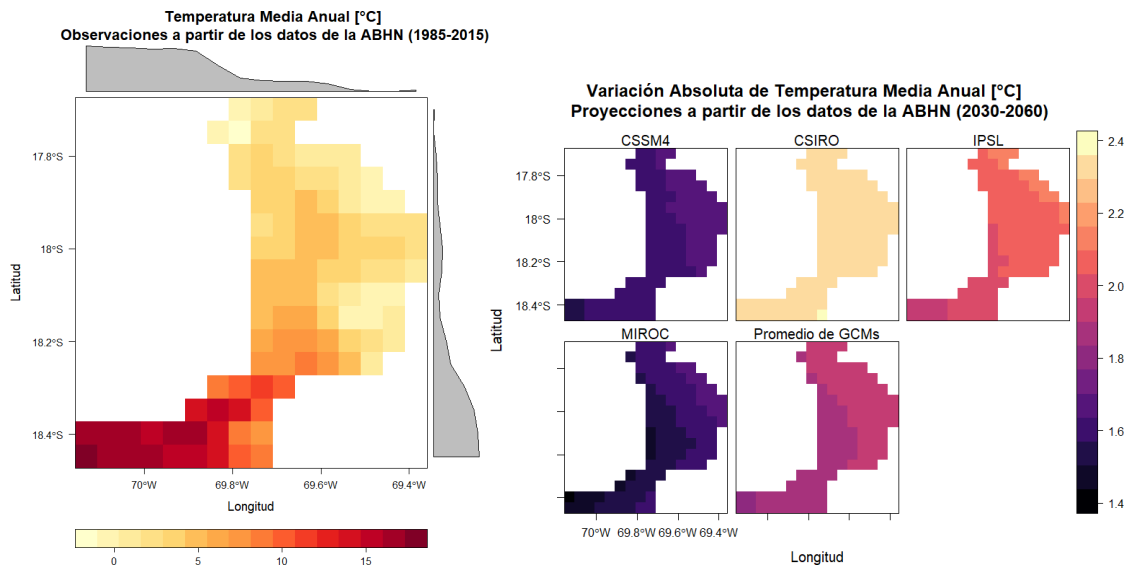
**Figura 2.39** Boxplots para las temperaturas medias anuales proyectadas en la cuenca del Río Lluta, de acuerdo a los GCMs considerados en el estudio ABHN. En línea punteada se representa el valor del periodo histórico.

**Tabla 2.29 Resumen cuantitativo de la serie histórica (1985-2015) y las series proyectadas, de temperaturas medias anuales en la cuenca del río Lluta.**

Estadístico \ Producto	Histórico	CCSM4	CSIRO	IPSL	MIROC	GCMs promedio
Promedio (°C)	5,66	7,09	7,80	7,49	7,01	7,35
Desviación Estándar (°C)	0,62	0,60	0,85	0,83	0,89	0,66
Coefficiente de Variación (-)	0,11	0,09	0,11	0,11	0,13	0,09
Pendiente de la línea de tendencia (°C/década)	0,22	0,53	0,80	0,80	0,56	0,67

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2.40 se presenta la variación espacial de las temperaturas, mostrando el escenario histórico una disminución de las temperaturas con la altura. Las proyecciones de los GCM muestran para todos los casos un aumento de temperatura para todo el territorio.

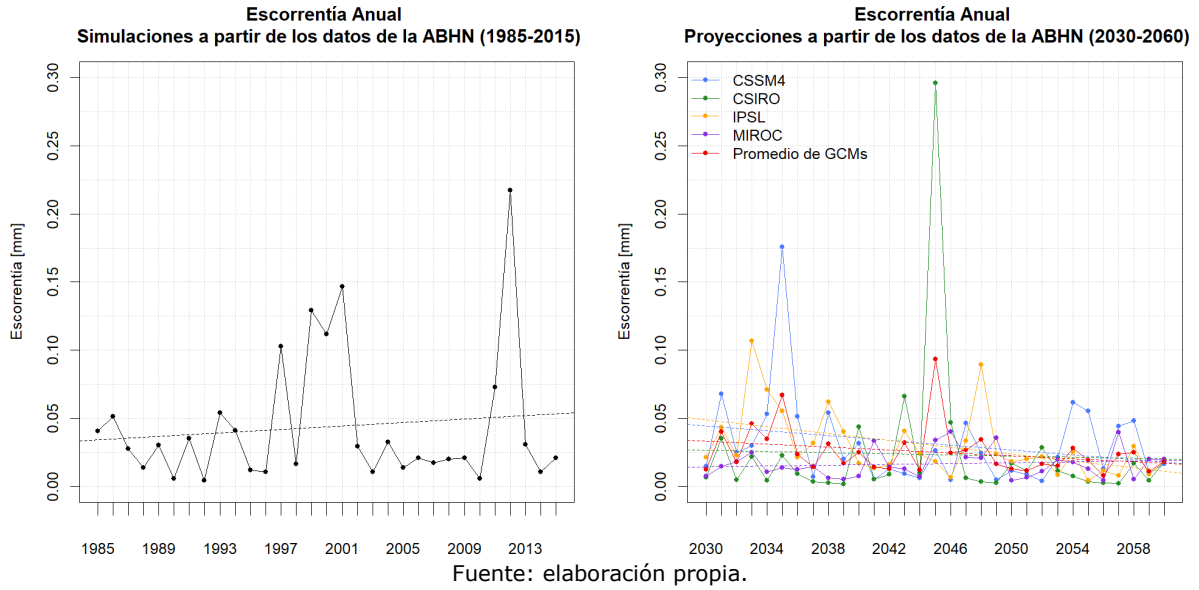


Fuente: elaboración propia.

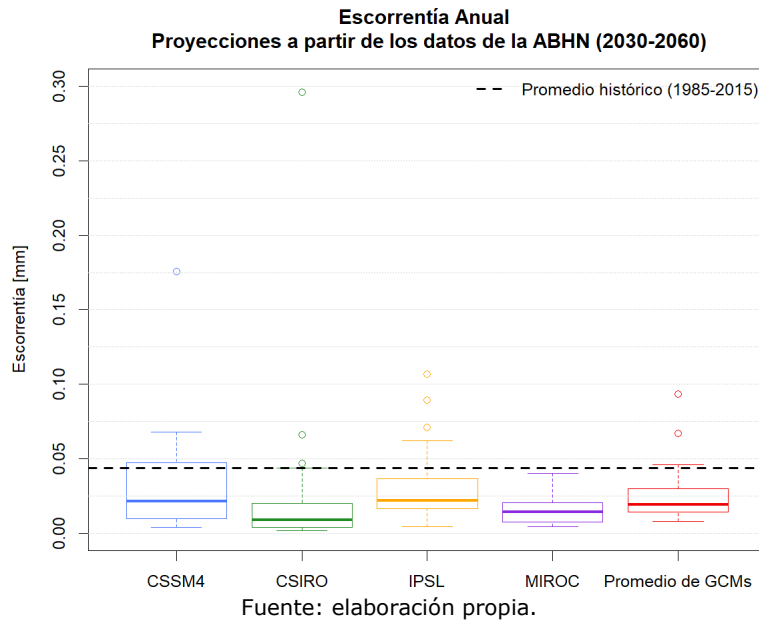
**Figura 2.40 Distribución espacial de la temperatura media anual histórica en la cuenca del Río Lluta, y las correspondientes variaciones absolutas proyectadas de acuerdo a los GCMs considerados en el estudio ABHN.**

**Escorrentía media anual**

En la Figura 2.41 se presenta la variación de escorrentía anual histórica, así como la proyección para los 4 GCM y su promedio, y en la Figura 2.42 un gráfico boxplot de los resultados en la cuenca. Si bien a nivel histórico se observa un aumento en los caudales, esto está fuertemente influenciado por las crecidas de los años 2001 y 2012. La tendencia para todos los escenarios muestra una pendiente negativa, siendo el escenario MIROC el más desfavorable (ver Tabla 2.30).



**Figura 2.41 Escorrentía anual histórica y proyecciones derivadas del estudio ABHN, para la cuenca del río Lluta. En líneas punteadas se marca la línea de tendencia de cada serie temporal.**



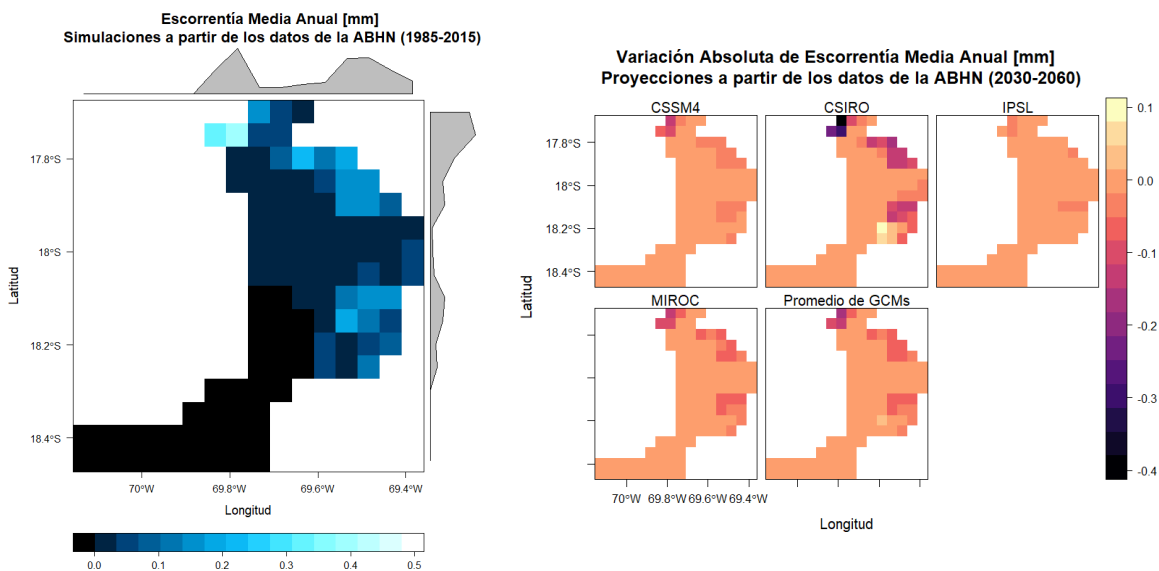
**Figura 2.42 Boxplots para los valores de escorrentía anual proyectados en la cuenca del río Lluta, de acuerdo a los GCMs considerados en el estudio ABHN. En línea punteada se representa el valor del periodo histórico.**

**Tabla 2.30 Resumen cuantitativo de la serie histórica (1985-2015) y las series proyectadas, de valores de escorrentía media anual en la cuenca del río Lluta.**

Estadístico \ Producto	Histórico	CCSM4	CSIRO	IPSL	MIROC	GCMs promedio
Promedio (mm)	0,044	0,031	0,023	0,030	0,017	0,025
Desviación Estándar (mm)	0,049	0,033	0,053	0,024	0,011	0,018
Coefficiente de Variación (-)	1,123	1,067	2,263	0,811	0,635	0,700
Pendiente de la línea de tendencia (mm/década)	0,0063	-0,0087	-0,0020	-0,0126	0,0016	-0,0054

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2.43 se presenta la variación espacial de la escorrentía y las diferencias proyectadas por los GCM. Se observa que la variación es negativa para toda la cuenca, con especial fuerza en las zonas más elevadas.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.43 Distribución espacial de la escorrentía media anual histórica en la cuenca del río Lluta, y las correspondientes variaciones absolutas proyectadas de acuerdo a los GCMs considerados en el estudio ABHN.**

## 2.3 Dimensión ambiental

De acuerdo a DGA (2003) en la cuenca se pueden observar 4 formaciones, que pertenecen a 2 regiones vegetacionales del país.

La Región de la Estepa Altoandina se encuentra en la Cordillera de los Andes árida y semiárida, abarcando desde el extremo norte (límite con Perú y Bolivia), hasta las montañas andinas de la VII Región. Existe una gran homogeneidad de vegetación, destacando tres tipos biológicos fundamentales, las plantas pulvinadas o en cojín, las

*gramíneas cespitosas*, pastos duros o “coirones” y los arbustos bajos de follaje lucido (“tolas”). Las formaciones de esta región son la estepa alto andina altiplánica y la estepa arbustiva pre-altiplánica.

La Región del Desierto se extiende desde el límite con Perú, en la Línea de la Concordia, hasta el río Elqui, en la IV Región. Constituye la parte más austral del desierto de la costa del Pacífico de América del Sur. Aunque tiene como límite oeste la costa oceánica, es principalmente un desierto interior, con una altitud media aproximada de 1.500 m s.n.m., abarcando los abruptos acantilados costeros, las serranías de la Cordillera de la Costa, las grandes depresiones interiores y las laderas occidentales de la Cordillera de los Andes. Las formaciones de esta región son el desierto interior y el matorral desértico con suculentas columnáceas, tal como se indica en DGA (2003).

En los estudios DGA (2004, 2001) y los estudios de manejo de cuencas financiados por el Global Environmental Fund de Naciones Unidas (GEFNUD, 2001) se describe la flora y fauna acuática existente en la cuenca. La flora acuática presente en la cuenca del río Lluta incluye: *Juncos sp.*, *Oxichloe andina* (Maiza), *Distichia muscoides* (Champa), *Lilaeopsis sp.* (Césped acuático), *Distichlis humilis* (Pasto salado), *Carex sp.* (Cortadera), *Scirpus atacamensis* (Pak’o), *Ranunculus sp.* (Botón de oro).

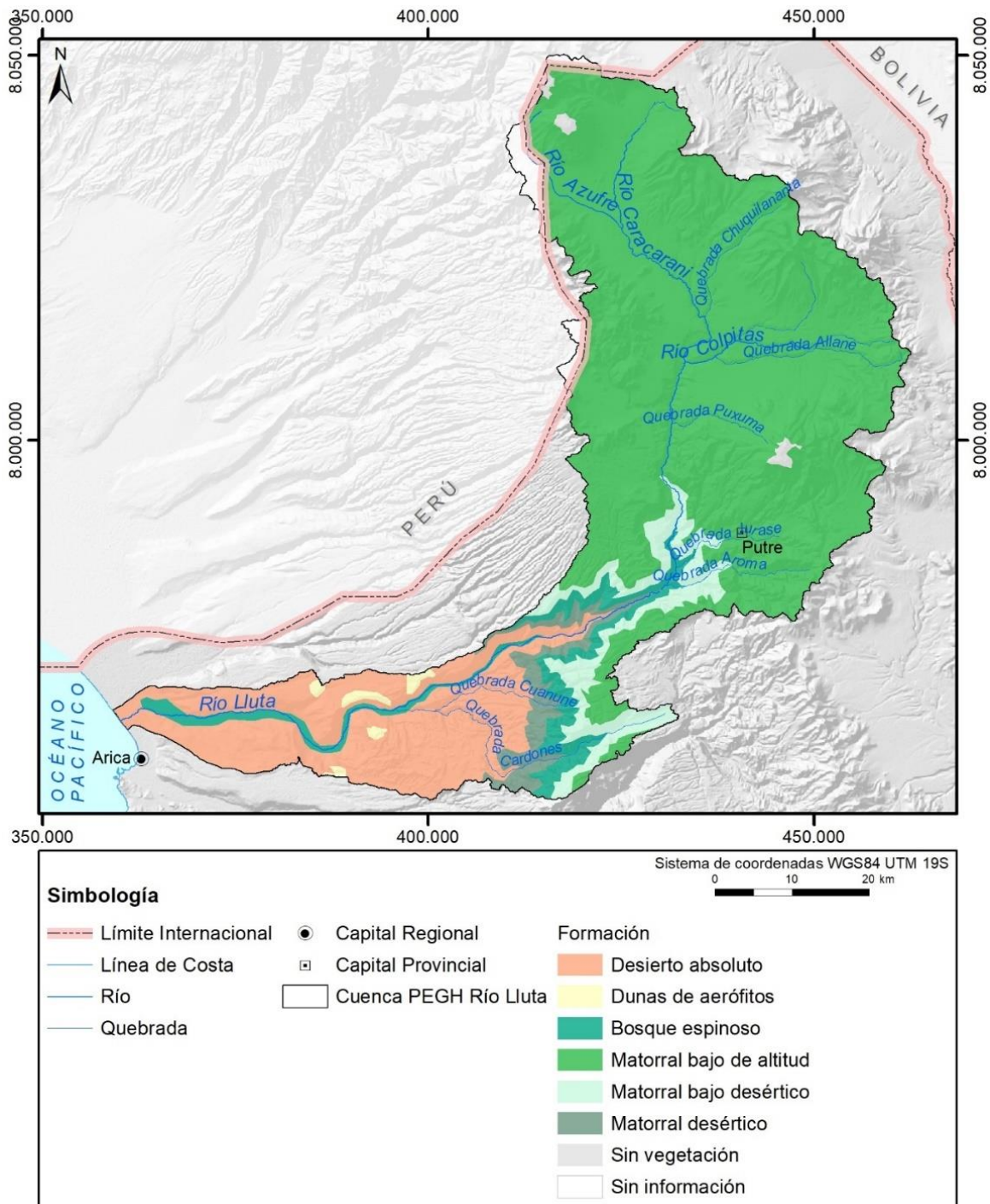
La desembocadura del río Lluta se caracteriza por presentar tupida vegetación entre la cual se puede mencionar la grama salada, cola de caballo, chilca, chingollo y totora. Con respecto a la fauna en el río Lluta, se ha encontrado la presencia del camarón de río del norte (*Cryphiops caementarius*) desde Poconchile hasta la desembocadura. En la desembocadura también se ha reportado la presencia de peces pejerreyes (*Basilichthys semotilus*) y lisas (*Mugil sp.*) (DGA, 2004). Además, es común la presencia de caracoles, insectos acuáticos y guppis. La desembocadura del río Lluta es un sitio considerado como Área de Conservación de la biodiversidad, por su alta diversidad de especies de plantas y animales particularmente aves.

El exceso de compuestos inorgánicos de esta cuenca, conjuntamente con la irregularidad en la disponibilidad del recurso hídrico, habría influido en la casi total ausencia de flora acuática en ella.

Del listado de especies clasificadas desde el 1° al 14° proceso de clasificación RCE elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente, se resume en 123 animales, 2 hongos y 47 plantas catalogadas en alguna categoría de conservación en la región de Arica y Parinacota.

### 2.3.1 Unidades ecosistémicas

De acuerdo con la Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile de Luebert & Pliscoff (2017), la cuenca del Río Lluta presenta 7 tipos de formaciones (Figura 2.44), las que a su vez se dividen en 12 tipos de pisos vegetacionales, cuyo detalle se presenta en la Tabla 2.31.



Fuente: elaboración propia con datos del MMA (2020a).

**Figura 2.44 Formaciones Vegetacionales de Luebert & Pliscoff (2017).**

**Tabla 2.31 Pisos vegetacionales de Luebert & Pliscoff (2017) en Cuenca Río Lluta**

Formación	Código Piso	Piso	Superficie remanente (km <sup>2</sup> )	Porcentaje superficie (%)
Desierto absoluto	P1	Desierto tropical interior con vegetación escasa	593	17,6
Matorral bajo de altitud	P100	Matorral bajo tropical andino de <i>Parastrephia lepidophylla</i> y <i>P. quadrangularis</i>	866	25,8
Matorral bajo de altitud	P101	Matorral bajo tropical andino de <i>Azorella compacta</i> - <i>Pycnophyllum molle</i>	399	11,9
Dunas de aerófitos	P2	Dunas tropicales costeras de <i>Tillandsia landbeckii</i> - <i>T. marconae</i>	22	0,7
Matorral bajo desértico	P23	Matorral bajo desértico tropical andino de <i>Atriplex imbricata</i> - <i>Acantholippia deserticola</i>	194	5,8
Bosque espinoso	P30	Bosque espinoso tropical interior de <i>Geoffroea decorticans</i> - <i>Prosopis alba</i>	58	1,7
Bosque espinoso	P31	Bosque espinoso tropical andino de <i>Browningia candelaris</i> - <i>Corryocactus brevistylus</i>	115	3,4
Matorral desértico	P4	Matorral desértico tropical interior <i>Malesherbia auristipulata</i> - <i>Tarasa operculata</i>	98	2,9
Matorral bajo de altitud	p97	Matorral bajo tropical andino de <i>Fabiana ramulosa</i> - <i>Diplostephium meyenii</i>	535	15,9
Matorral bajo de altitud	p98	Matorral bajo tropical andino de <i>Parastrephia lucida</i> - <i>Azorella compacta</i>	320	9,5
Matorral bajo de altitud	p99	Matorral bajo tropical andino de <i>Parastrephia lucida</i> / <i>Festuca orthophylla</i>	144	4,3
Sin vegetación	SV	Sin vegetación	16	0,5

\*: Superficies redondeadas

Fuente: elaboración propia con datos del MMA (2020a).

Además, según el Inventario de Humedales del Ministerio de Medio Ambiente (MMA, 2020b), la cuenca del río Lluta está cubierta en un 2,1% del total de su superficie por estos ecosistemas, encontrando 7 tipos de clasificaciones, y destacando los humedales del tipo Andino (Tabla 2.32), cuya superficie como su ubicación espacial se pueden observar en la Tabla 2.33 y en la Figura 2.45 respectivamente.

**Tabla 2.32 Clasificación humedales en la cuenca del Río Lluta**

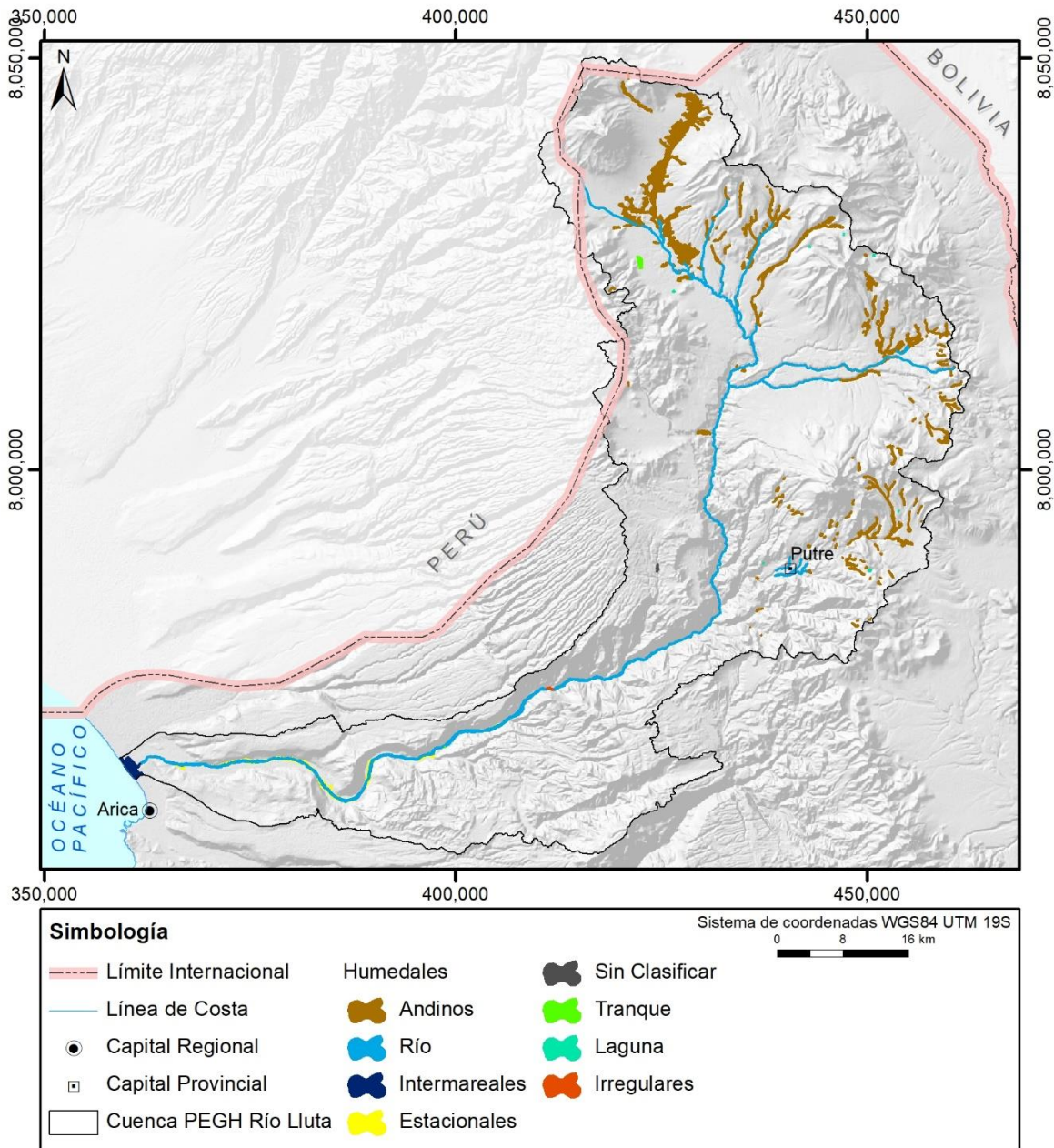
Clasificación	Superficie		
	Ha	km <sup>2</sup>	%
Andinos	4.773,2	47,7	67,2
Río	1.364,0	13,6	19,2
Intermareales	475,6	4,8	6,7
Estacionales	365,7	3,7	5,1
Sin clasificar	55,6	0,6	0,8
Tranque	49,0	0,5	0,7
Laguna	15,2	0,2	0,2
Irregulares	7,4	0,1	0,1
<b>Total</b>	<b>7105,8</b>	<b>71,1</b>	<b>100,0</b>

Fuente: elaboración propia con datos del MMA (2020b).

**Tabla 2.33 Ubicación humedales en la cuenca del Río Lluta**

Ubicación	Superficie		
	Ha	km <sup>2</sup>	%
Río Lluta Alto	5174,6	51,7	72,7
Río Lluta Bajo	1619,6	16,2	22,3
<b>Total general</b>	<b>7105,8</b>	<b>71,1</b>	<b>100,0</b>

Fuente: elaboración propia con datos del MMA (2020b).



Fuente: elaboración propia con datos del MMA (2020b).

**Figura 2.45 Humedales de la cuenca del Río Lluta**

### 2.3.2 Sitios o áreas protegidas

Las áreas representadas en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNAPE), además de otros instrumentos de conservación dentro de la cuenca del río Lluta son presentadas en la Tabla 2.34 y mostradas en la Figura 2.46.

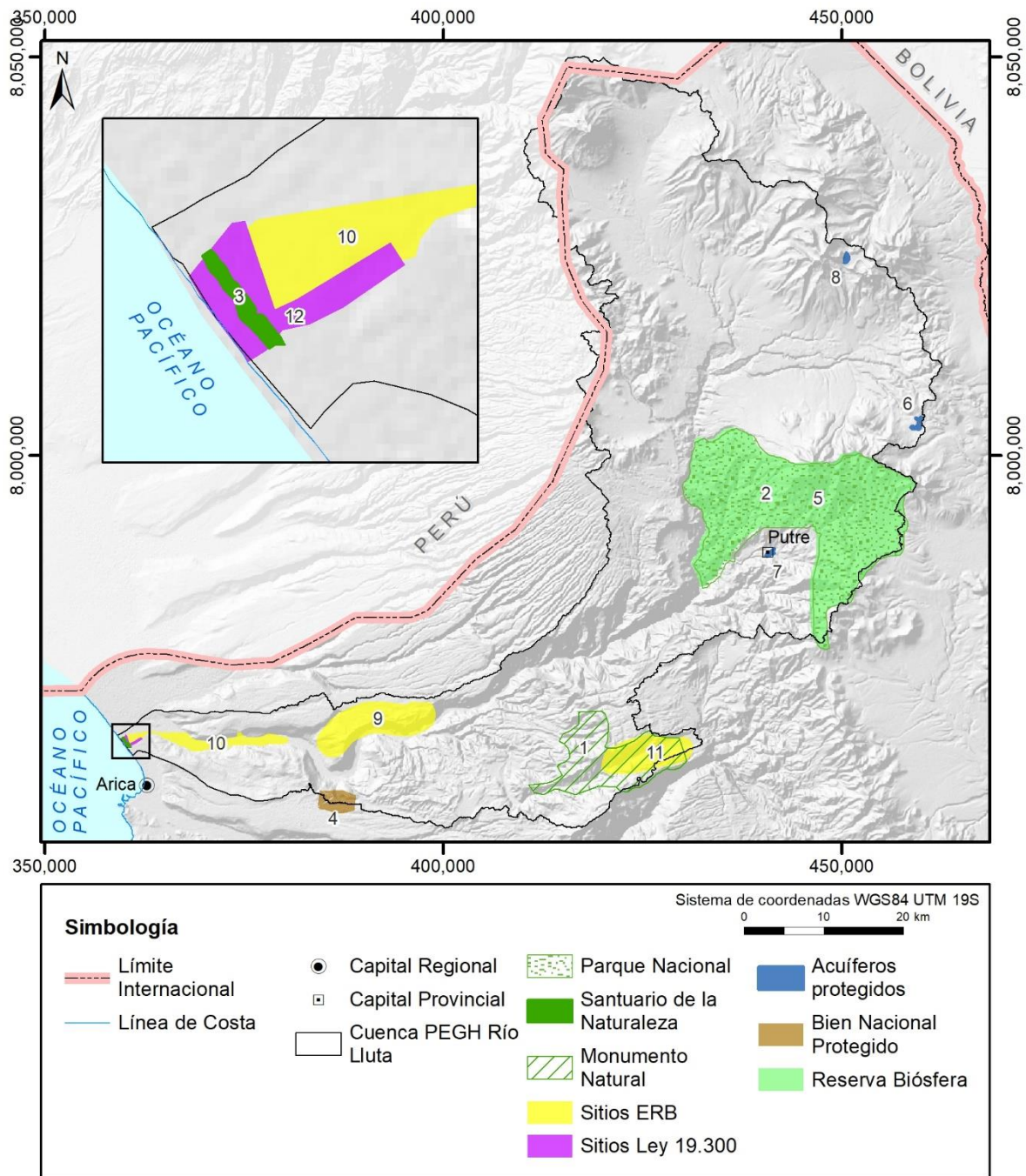
**Tabla 2.34 Áreas con algún grado de protección con fines de conservación de la cuenca del Río Lluta**

	Sitio	Superficie (km <sup>2</sup> )*	Categoría	Año de creación	Código
1	Quebrada Cardones	67	Monumento Natural	13-02-2010	WDPA-009
2	Lauca	1.378	Parque Nacional	29-08-1970	WDPA-026
3	Humedal de la Desembocadura del Río Lluta	0,3	Santuario de la Naturaleza	28-11-2009	WDPA-116
4	Cerro Poconchile	12	Bien Nacional Protegido	14-08-2010	BNP-001
5	Lauca	3.583	Reserva Biósfera	1981	RBIO-005
6	Japocota	0,8	Acuíferos protegidos	28-11-1996	RES N° 909/28-11-1996
7	Iscajoco	0,4	Acuíferos protegidos	28-11-1996	RES N° 909/28-11-1996
8	Pucarani	0,5	Acuíferos protegidos	28-11-1996	RES N° 909/28-11-1996
9	Cerros de Poconchile	61	Sitios ERB	-	SP2-111
10	Valle de Lluta	26	Sitios ERB	-	SP2-116
11	Cuesta El Águila - Quebrada Cardones	45	Sitios ERB	-	SP2-118
12	Desembocadura del río Lluta	18	Sitios Ley 19.300	-	SP1-053

\*: Superficies redondeadas

Fuente: elaboración propia con datos del Registro Nacional de Áreas Protegidas del MMA<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Registro Nacional de Áreas Protegidas [en línea] <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/> (visitado por última vez el 27-07-2020).



Fuente: elaboración propia con datos del MMA (2020a).

**Figura 2.46 Sitios o Áreas Protegidas en la cuenca del Río Lluta**

### 2.3.3 Glaciares

Según la definición de la DGA (2009a), un glaciar corresponde a toda superficie de hielo y nieve permanente generada sobre el suelo, que sea visible por periodos de al menos

2 años y de un área igual o superior a 0,01 km<sup>2</sup>, o cualquier superficie rocosa con evidencia superficial de flujo viscoso, producto de un alto contenido de hielo actual o pasado en el subsuelo.

De acuerdo al inventario de glaciares de la DGA<sup>3</sup>, en la cuenca del río Lluta existen 97 glaciares distribuidos entre glaciares rocosos, glaciares de montaña y glaciaretes, los cuales cubren un área total de 6,36 km<sup>2</sup> y se encuentran distribuidos principalmente en el límite norte y oriental de la cuenca en los centros volcánicos y cordones montañosos, donde se presentan las mayores altitudes. En la Tabla 2.35 y en la Figura 2.47 se muestran los glaciares presentes en la cuenca.

A continuación, se desglosa y caracteriza cada uno de los tipos presentes en la cuenca, de acuerdo a la caracterización glaciológica nacional:

- Glaciar rocoso: cuerpos de hielo y rocas, que evidencian flujo, a tasas muy inferiores en comparación con glaciares descubiertos, debido a que la proporción de hielo versus el volumen total, puede ser inferior al 50%. Poseen una geometría en forma de lengua o lóbulo, cuya estructura interna está constituida por una mezcla de hielo estimada entre un 40% y 60% (Azócar & Brenning, 2008; DGA, 2009a; Segovia & Videla, 2017) .
- Glaciar de montaña: están situados en las partes altas de la cordillera, con formas variables y donde la evacuación desde las zonas de acumulación se da por medio de una lengua glaciar pequeña (DGA, 2009a; Müller et al., 1977; Segovia & Videla, 2017)
- Glaciarete: son pequeñas superficies de hielo que no poseen una clara delimitación de zonas de acumulación ni de ablación (DGA, 2009a; Segovia & Videla, 2017), presentan una superficie entre 0,01 km<sup>2</sup> y 0,1 km<sup>2</sup>.

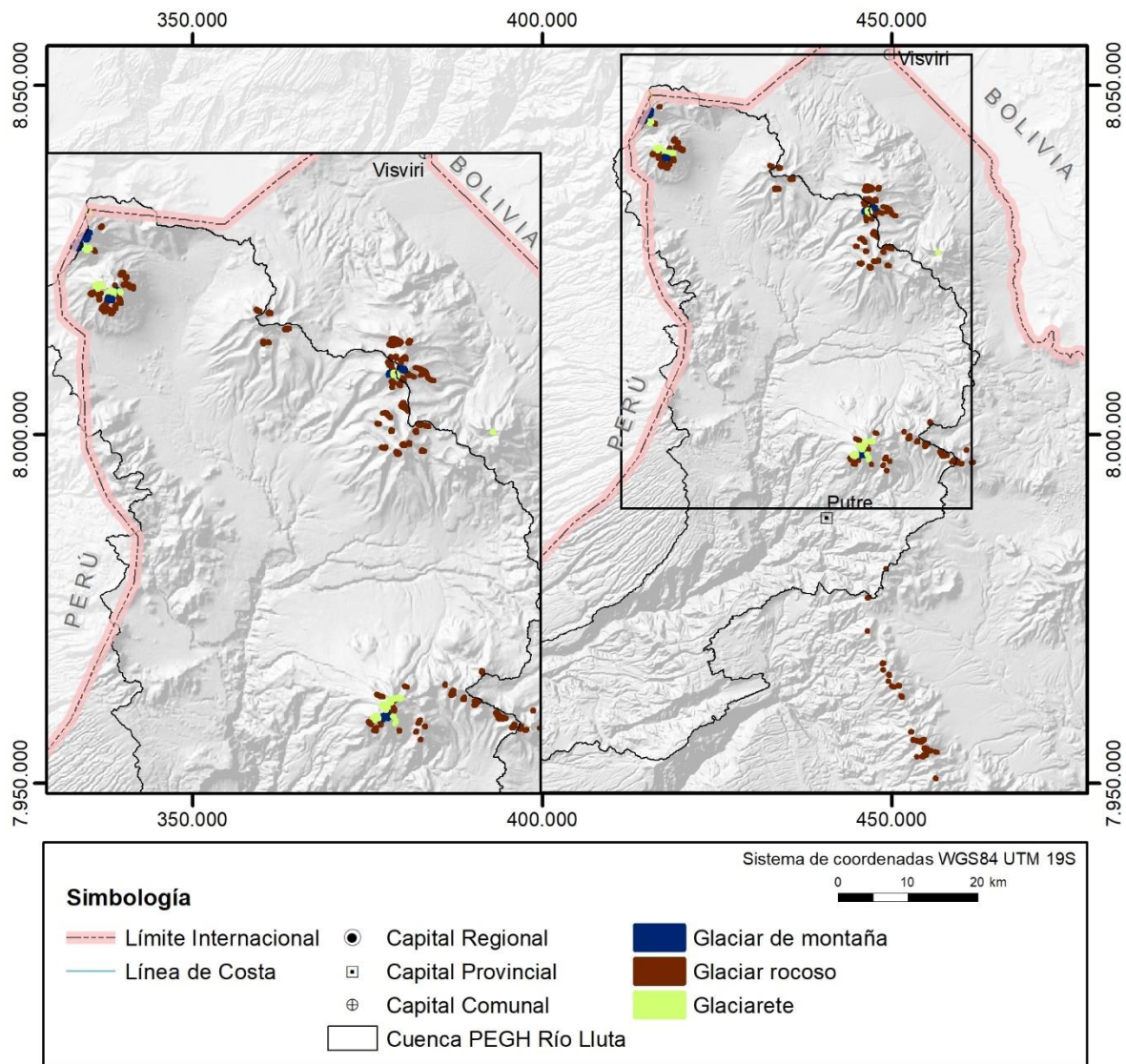
**Tabla 2.35 Glaciares en la cuenca del río Lluta.**

Clasificación	Cantidad	Área (km <sup>2</sup> )
Glaciar rocoso	64	3,77
Glaciar de montaña	6	1,47
Glaciarete	27	1,12
<b>Total</b>	<b>97</b>	<b>6,36</b>

Fuente: elaboración propia, basado en información Observatorio Georreferenciado DGA.

En relación al aporte de los glaciares al sistema hídrico, es necesario señalar que no se cuenta con información de monitoreo que permita realizar una estimación. Lo anterior, sumado a la dificultad de acceso y mapeo de estas estructuras, será incluido como una brecha de información.

<sup>3</sup> Observatorio Georreferenciado DGA [en línea] <https://snia.mop.gob.cl/observatorio/> (visitado por última vez el 25/05/2021)



Fuente: elaboración propia, base web DGA.

**Figura 2.47 Ubicación y tipos de glaciares en la cuenca del río Lluta.**

### 2.3.4 Aguas Fósiles

De acuerdo a la recopilación y revisión de antecedentes, no se han encontrado registros de esta materia.

## 2.4 Infraestructura hídrica

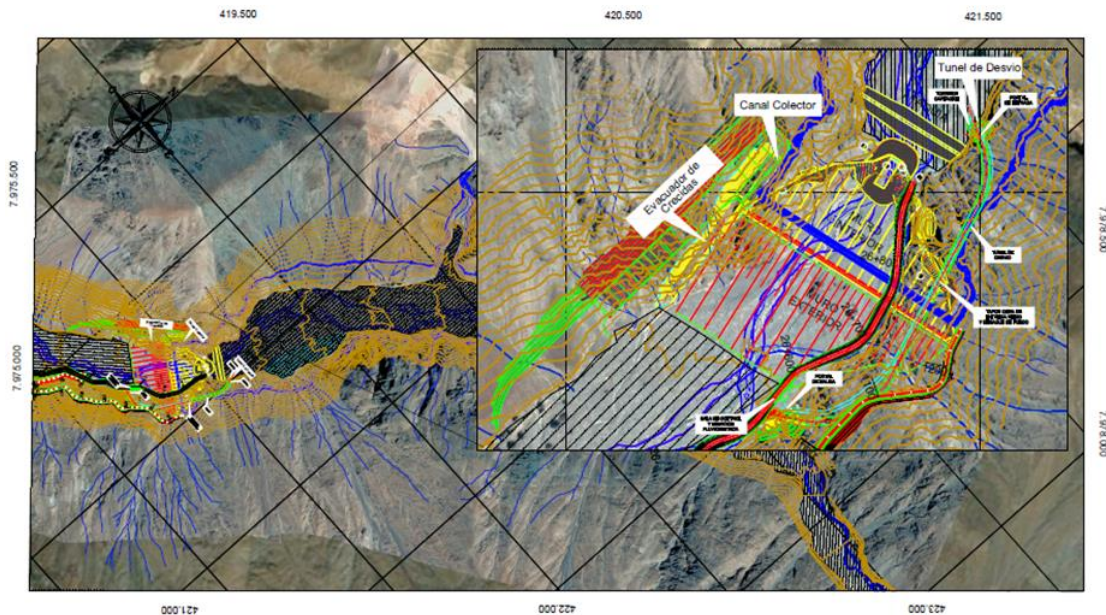
### 2.4.1 Obras hidráulicas

En la cuenca del río Lluta no se cuenta con una gran cantidad de infraestructura hidráulica, pero en el sector del Valle de Lluta se aloja la mayor red de canales de la

cuenca, que cuentan con bocatomas escuálidas y obras hidráulicas para distribuir las aguas.

### **Embalses**

Actualmente la cuenca no cuenta con embalses materializados. Sin embargo, la DOH se encuentra construyendo el embalse Chironta, que se ubica en el Sitio N°4, en la angostura de Chironta en el Valle de Lluta, a 70 km al NE de la ciudad de Arica y a 1.860 m s.n.m. (Figura 2.48). La construcción comenzó en mayo de 2017. El diseño contará con un almacenamiento de 17 hm<sup>3</sup>, una superficie inundable de 56 ha, una altura, longitud y ancho de presa de 90 m, 274 m y 10 m, respectivamente<sup>4</sup>. El embalse considera las siguientes obras proyectadas: Presa, Túnel de Desviación, Evacuador de Crecidas, Obras Anexas, Caminos de Acceso y de Borde. El proyecto no considera la construcción de un canal matriz (DOH, 2012).



Fuente: DOH (2012).<sup>5</sup>

**Figura 2.48 Ubicación de las obras del embalse Chironta**

### **Red de Canales**

La infraestructura hidráulica de la cuenca del río Lluta está constituida principalmente por una serie de canales que constituyen cada una de las comunidades de agua de la cuenca y que comprende la Junta de Vigilancia del Río Lluta. Estas comunidades de canalistas se encuentran divididas en los sectores de Lluta Alto y Lluta Bajo. Todas

<sup>4</sup> Proyecto Embalse Chironta [en línea] [www.embalsechironta.cl](http://www.embalsechironta.cl) (visitado por última vez el 24/05/2021)

<sup>5</sup> Estudio de Impacto Ambiental Embalse Chironta, Servicio de Evaluación Ambiental (SEIA) [en línea] [https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id\\_expediente=7325942](https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=7325942) (visitado por última vez el 24/05/2021)

cuentan con bocatomas muy escuálidas, tipo patas de cabra, y que son arrastradas o se pierden con las grandes crecidas.

El sector de Lluta Alto corresponde a las ubicadas en la cuenca del Río Lluta desde la cabecera de la cuenca en el límite fronterizo con Perú hasta la quebrada de Socoroma. En ésta se ubican 30 canales principalmente ubicados en las localidades de Putre, Socoroma, Villa Industrial y Tacora. Los canales de esta cuenca son mayoritariamente revestidos en hormigón con un 61% del total, seguido por canales sin revestir o de tierra con un 24% y tuberías de PVC con un 7%. Otros materiales tienen un menor porcentaje del total.

El sector de Lluta Bajo es una subcuenca del río Lluta que se desarrolla desde quebrada de Socoroma hasta la desembocadura del río en el océano Pacífico. Es en esta zona de la cuenca del Lluta donde se desarrolla la mayor actividad agrícola. En esta cuenca se catastraron 69 canales. En este sector se tiene casi el mismo porcentaje del total de canales con revestimiento de hormigón y canales sin revestir, representando un 50% y un 46% respectivamente. El pequeño porcentaje restante se distribuye en revestimiento de mampostería, losetas, tuberías de acero y PVC. El listado de canales y su estado se describe en la Tabla 2.36 y se muestra en la Figura 2.49.

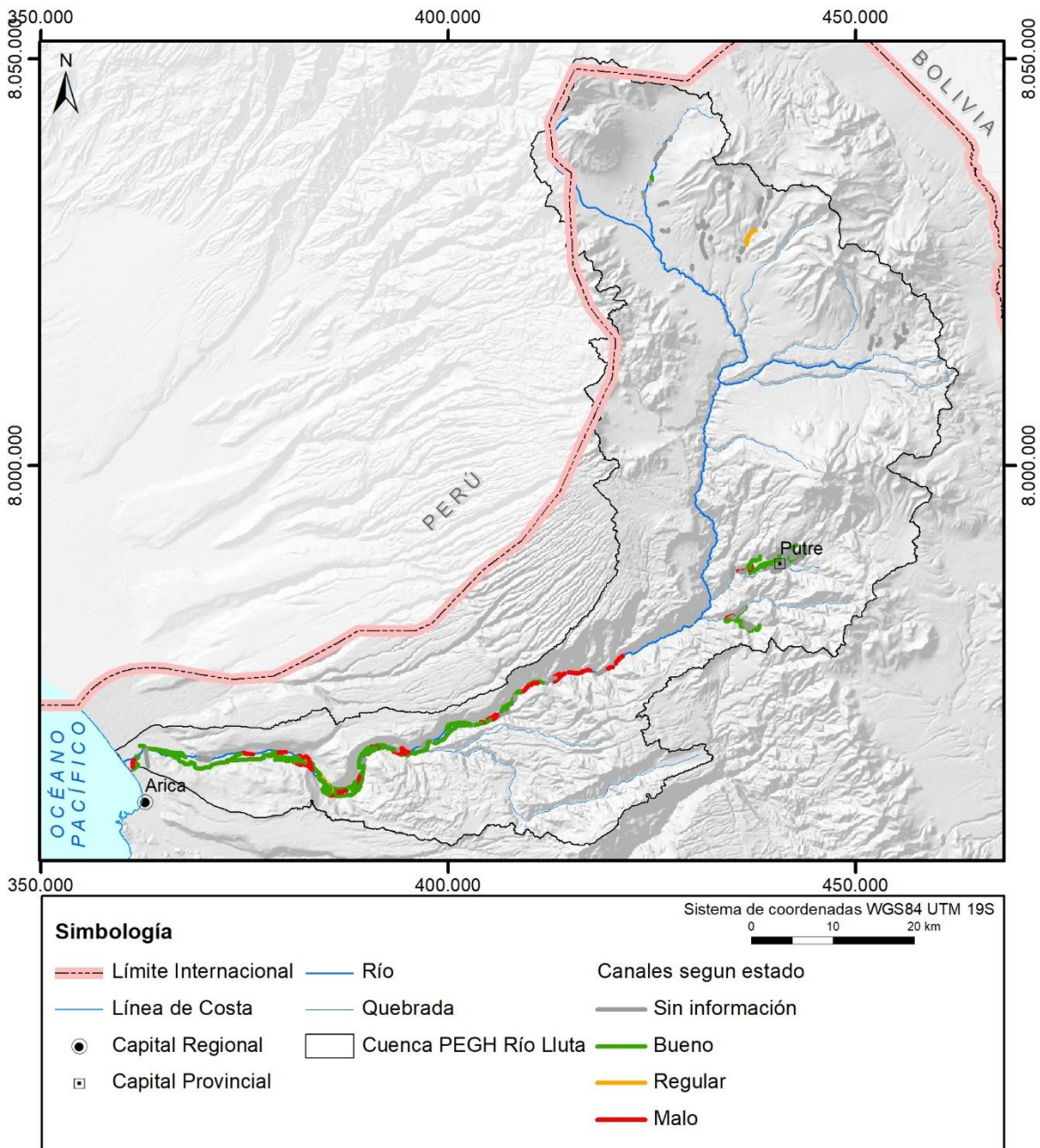
**Tabla 2.36 Listado de Canales de la cuenca del Río Lluta.**

N°	CANAL	SECTOR	ESTADO	REVESTIMIENTO
<b>SUBCUENCA LLUTA ALTO</b>				
1	Canal Aroma	Socoroma	Regular	Tubo PVC
2	Canal Bendecita	Putre	Bueno	Hormigón
3	Canal Cerro Socoroma	Socoroma	Malo	Sin revestimiento
4	Canal Chachacagua	Socoroma	Bueno	Loseta
5	Canal Chipaca	Socoroma	Bueno	Tubo HDPE
6	Canal Cubrimani	Putre	Bueno	Hormigón / Losetas
7	Canal del Pueblo de Socoroma	Socoroma	Bueno	Loseta
8	Canal del Pueblo Derivados Socoroma	Socoroma	Bueno	Varios (según derivado)
9	Canal Derivado Calajalata	Putre	Bueno	Hormigón / Losetas
10	Canal Derivado Catalacata	Putre	Bueno	Hormigón
11	Canal Llancoma	Putre	Bueno	Hormigón / Losetas
12	Canal Llipi-Llipi	Putre	Bueno	Hormigón
13	Canal Lluscuma	Putre	Bueno	Hormigón
14	Canal Mamcaruma (Chulpane)	Socoroma	Bueno	Loseta
15	Canal Perquelleque	Putre	Malo	Sin revestimiento
16	Canal Quillane	Putre	Malo	Hormigón
17	Canal Surunche	Putre	Bueno	Hormigón
18	Canal Taipicahua	Putre	Bueno	Hormigón
19	Canal Tojotojoni	Putre	Bueno	Tubo PVC
20	Canal Ancocalane	Villa Industrial	Regular	Mampostería / PVC
21	Canal Calvario	Tacora	Malo	Sin revestimiento
22	Canal Challavinto	Villa Industrial	Bueno	PVC
23	Canal Contornaza	Villa Industrial	Bueno	PVC
24	Canal Kechuyyo	Tacora	Malo	Sin revestimiento
25	Canal Pujo Chuncho	Tacora	Malo	Acero
26	Canal Siquipitaña (Sector Este)	Villa Industrial	Bueno	PVC
27	Canal Siquipitaña (Sector Oeste)	Villa Industrial	Bueno	PVC
28	Canal Tiñapampa	Villa Industrial	Malo	PVC
29	Canal Uchuzuma	Villa Industrial	Bueno	PVC
30	Canal Utavira	Villa Industrial	Malo	Mampostería / PVC / Losetas
<b>SUBCUENCA LLUTA BAJO</b>				

Nº	CANAL	SECTOR	ESTADO	REVESTIMIENTO
1	Canal Aguataya	Lluta	Bueno	Loseta
2	Canal Aguataya 2	Lluta	Malo	PVC / Acero
3	Canal Alanoca	Lluta	Malo	Sin revestimiento
4	Canal Almonte	Lluta	Malo	Sin revestimiento
5	Canal Anca Collo	Lluta	Bueno	Hormigón
6	Canal Arancha	Lluta	Malo	Loseta
7	Canal Arellano Beyzan	Lluta	Malo	Hormigón
8	Canal Ayca Gonzalez	Lluta	Bueno	Loseta
9	Canal Barranco	Lluta	Malo	Loseta
10	Canal Beneficencia	Lluta	Bueno	Loseta
11	Canal Bocanegra	Lluta	Bueno	Hormigón
12	Canal Bolaños	Lluta	Bueno	Loseta
13	Canal Bolaños Villanueva	Lluta	Malo	Hormigón
14	Canal Buena Vista	Lluta	Malo	Sin revestimiento
15	Canal Cala-Cala	Lluta	Bueno	Hormigón / Loseta
16	Canal Cata Sur	Lluta	Malo	Sin revestimiento
17	Canal Chacabuco (1eras fichas)	Lluta	Bueno	Hormigón / Loseta
18	Canal Chacabuco Sur	Lluta	Bueno	Hormigón
19	Canal Challallapo	Lluta	Bueno	Hormigón / Loseta
20	Canal Chapisca Norte	Lluta	Malo	Sin revestimiento
21	Canal Chapisca Oriente	Lluta	Malo	Sin revestimiento
22	Canal Chapisca Sur	Lluta	Bueno	Hormigón
23	Canal Chatiapo	Lluta	Bueno	Hormigón
24	Canal Chinchano	Lluta	Bueno	Hormigón
25	Canal Cora Beyzan o Beyzan Cora	Lluta	Bueno	Loseta
26	Canal Derivado Chatiapo	Lluta	Malo	Sin revestimiento
27	Canal Derivado Visconti	Lluta	Bueno	Loseta
28	Canal Dominguez	Lluta	Malo	Sin revestimiento
29	Canal El Muro (1eras fichas)	Lluta	Bueno	Loseta
30	Canal El Muro (2das fichas)	Lluta	Bueno	Hormigón / Loseta
31	Canal El tambo	Lluta	Malo	Hormigón
32	Canal Garcia	Lluta	Malo	Sin revestimiento
33	Canal Huacharaquie	Lluta	Malo	Sin revestimiento
34	Canal Huanca	Lluta	Malo	Hormigón
35	Canal Huancarane	Lluta	Bueno	Loseta
36	Canal Iqueta Norte	Lluta	Malo	Sin revestimiento
37	Canal Jirón	Lluta	Malo	Sin revestimiento
38	Canal Kesler-Gil	Lluta	Malo	Hormigón
39	Canal La Isla	Lluta	Bueno	Loseta
40	Canal La Palma	Lluta	Malo	Sin revestimiento
41	Canal La Palma 1	Lluta	Regular	Loseta
42	Canal La Palma 2	Lluta	Bueno	Loseta
43	Canal Linderos	Lluta	Bueno	Loseta
44	Canal Loredo	Lluta	Bueno	Loseta
45	Canal Maraboli	Lluta	Bueno	Loseta
46	Canal Mayorga	Lluta	Bueno	Loseta
47	Canal Molinos	Lluta	Bueno	Loseta
48	Canal Poconchile	Lluta	Bueno	Loseta
49	Canal Ponce	Lluta	Bueno	Loseta
50	Canal Punta de Rieles	Lluta	Malo	Sin revestimiento
51	Canal Puro Chile	Lluta	Bueno	Loseta
52	Canal Ramos	Lluta	Bueno	Loseta
53	Canal Santa Inés	Lluta	Bueno	Tubo Acero / Loseta
54	Canal Santa Raquel	Lluta	Bueno	Loseta
55	Canal Santa Rosa	Lluta	Malo	Hormigón
56	Canal Sascapa	Lluta	Bueno	Hormigón / Loseta
57	Canal Tauquia	Lluta	Bueno	Loseta
58	Canal Tiñare	Lluta	Malo	Sin revestimiento
59	Canal Tocontasi	Lluta	Bueno	Hormigón
60	Canal Valle Hermoso	Lluta	Bueno	Loseta
61	Canal Vila Collo N°1	Lluta	Malo	Sin revestimiento

N°	CANAL	SECTOR	ESTADO	REVESTIMIENTO
62	Canal Vila Collo N°2	Lluta	Malo	Sin revestimiento
63	Canal Vila-Vila N°2	Lluta	Malo	Sin revestimiento
64	Canal Vilca Chong	Lluta	Bueno	Tubo Acero / Loseta
65	Canal Vilca Loredo	Lluta	Bueno	Loseta
66	Canal Vinto Norte	Lluta	Malo	Tubo Acero
67	Canal Vinto Sur	Lluta	Malo	Sin revestimiento
68	Canal Visconti	Lluta	Bueno	Loseta
69	Canal Zora	Lluta	Bueno	Loseta

Fuente: CNR (2016).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de mapoteca DGA

**Figura 2.49 Ubicación y estado de canales en la cuenca del río Lluta**

### **Tecnificación de riego**

En general la cuenca cuenta con poca tecnificación de riego, la que de acuerdo a los antecedentes consultados (CNR, 2016), se indica que el 77,1% de los predios agrícolas de la región de Arica y Parinacota son regados por métodos tradicionales (surco y tendido), lo que se explica por la gran cantidad de forrajeras y praderas mejoradas presentes, así como hortalizas y frutales no tecnificados. Y cerca del 20% de la superficie regada está cubierta por sistemas tecnificados asociados fundamentalmente al cultivo de hortalizas y frutales, los que se estiman que sean menores en Lluta debido a que la cuenca de Azapa aloja la mayoría de estos sistemas. Sin embargo, existen algunos predios que cuentan con pequeños tranques y sistemas de riego por aspersión, cuyos proyectos los ha llevado principalmente la CNR.

### **Infraestructura de defensas fluviales y de protección de riberas**

En la cuenca existen varios tramos del río Lluta que cuentan con obras de protección y defensas fluviales, las que se dan principalmente en el valle bajo del río Lluta. Sin embargo, en la subcuenca del río Lluta Alto igualmente existen sectores en que se han instalado defensas fluviales para mejorar la conectividad de los caminos, y que están asociadas a puentes y alcantarillas.

### **Infraestructura de Agua Potable y Alcantarillado**

En la cuenca se contabilizan un total de 5 sistemas de APR operativos, de los cuales 2 se ubican en la comuna de Arica, 2 en la comuna de Putre y 1 en la comuna de General Lagos. Sin embargo, el APR de Villa Frontera no cuenta con fuente propia. La Tabla 2.37 presenta una síntesis de los sistemas de Agua Potable Rural (APR) en la cuenca.

Por otra parte, el saneamiento rural (alcantarillado) es una problemática importante a resolver en la Región, ya que la mayoría de los sistemas de APR existentes no están acompañados de sistemas de saneamiento de aguas servidas, salvo las localidades de Putre y Poconchile.

**Tabla 2.37 Comités de Agua Potable Rural de la cuenca río Lluta.**

Provincia	Comuna	Sistema APR	Año Inicio	Nº Arranques	Beneficiarios
Arica	Arica	Lluta	1998	612	2.448
		Villa Frontera-La Ponderosa*	2009	252	1.008
Parinacota	Putre	Putre	1983/2017	323	1.615
		Socoroma	1985	110	428
	General Lagos	Coronel Alcérreca	2004	39	156

\* Sistemas APR que no cuentan con fuente hídrica propia.

Fuente: Sistema APR, DOH (2020).

### **Otras obras**

Otras obras relevantes existentes en la Región, son los Pretiles del río Azufre, que mitigan la contaminación natural del río Lluta, los que se ubican en Pampa Titire, y

poseen 14 estanques evaporadores, con una superficie evaporable total de 40 ha. aproximadamente y atienden un caudal promedio del río Azufre de 105 l/s, los que fueron construidos el año 1967 y reparados en los años 1978, 1994, 2009, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2016.

#### 2.4.2 Redes de medición

La DGA posee una red hidrométrica a lo largo de la cuenca la cual permite conocer datos hídricos en tiempo real y establecer patrones de comportamiento histórico de las condiciones hidrológicas a lo largo del país. La red hidrométrica se divide según el tipo de información que recopila, existen 8 tipos de estaciones; meteorológicas, fluviométricas, niveles de pozos, sedimentométricas, calidad de agua, nivel de lagos y embalses, glaciológicas y ruta de nieve.

De acuerdo a la Mapoteca DGA (abril 2020), en la cuenca del río Lluta hay un total de 32 estaciones, de las cuales 8 son meteorológicas, 7 fluviométricas, 5 de niveles de pozos, 1 sedimentométricas, 11 de calidad de agua, y ninguna de nivel de lagos y embalses, glaciológicas o de ruta de nieve. En la Tabla 2.38 se presenta el número de estaciones por tipo y por su distribución a lo largo de las subcuencas.

**Tabla 2.38 Número y distribución por subcuencas de las estaciones vigentes de la red hidrométrica en la cuenca del río Lluta**

Red de medición	Número de estaciones		
	Total	Lluta Alto	Lluta Bajo
Meteorológica	8	8	-
Fluviométrica	6	4	2
Niveles de pozo	5	-	5
Sedimentométrica	1	-	1
Calidad de agua	11	5	6
Lagos y embalses	-	-	-
Glaciológica	-	-	-
Ruta de nieve	-	-	-
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>17</b>	<b>15</b>

Fuente: elaboración propia a partir de datos Mapoteca DGA (abril 2020)

#### Estaciones meteorológicas

La cuenca del río Lluta cuenta con una red de monitoreo administrada por la DGA de 13 estaciones meteorológicas (8 vigentes), dos de ellas, Putre y Putre DCP cuentan con registros históricos diarios y mensuales de las variables climatológicas: temperatura, humedad relativa y evaporación. La estación suspendida Puquios, originalmente correspondía a la cuenca de La Concordia, sin embargo, con la nueva definición de los límites de cuenca hecha en este estudio, se incorporó a la cuenca del río Lluta. Las coordenadas y periodos de información disponible de las estaciones se presentan en la Tabla 2.39. Existen otras estaciones meteorológicas en la cuenca administradas por otras instituciones, las que se mencionan en la sección 3.1 del Anexo J. Todas estas

estaciones meteorológicas se muestran en la Figura 2.50, en la que adicionalmente se muestran las estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca como referencia.

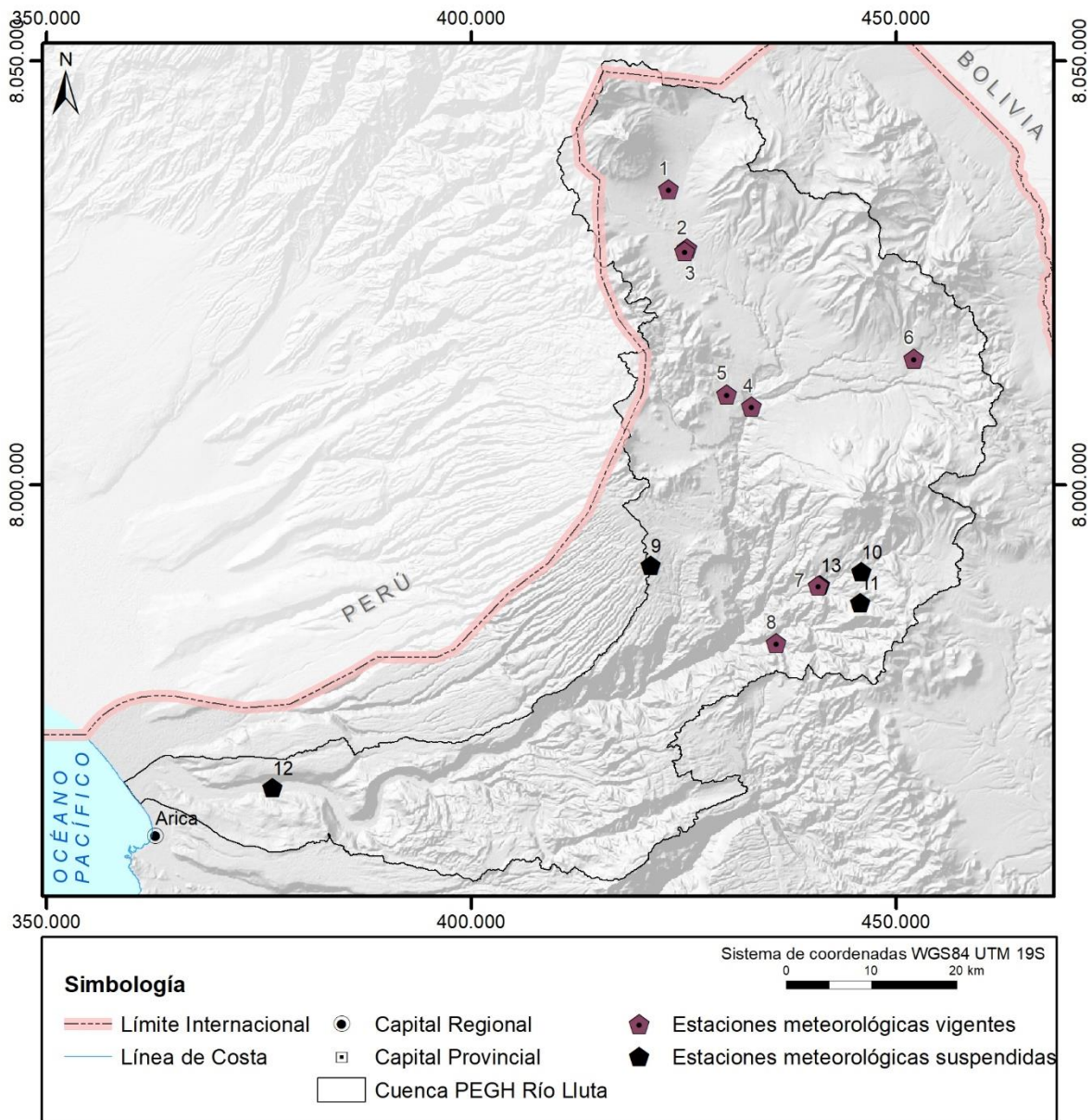
Como particularidad, mencionar que la estación Putre estuvo vigente hasta el año 2009, y contigua a ésta, inicio a operar la estación Putre DCP desde el año 2001, por lo tanto, se completó el registro de precipitación de una estación en relación a la otra, existiendo muy buena correlación.

**Tabla 2.39 Estaciones meteorológicas controladas por la DGA en la cuenca del Río Lluta. Ver ubicación en Figura 2.50 según número (#)**

#	Nombre Estación Meteorológica DGA	Código BNA	Datum WGS84 H19S		Altitud (m s.n.m.)	Estado	Periodo
			UTM Este	UTM Norte			
1	VILLA INDUSTRIAL - TACORA	01200002-2	423.227	8.034.223	4.080	V	1975 - V
2	HUMAPALCA	01200003-0	425.414	8.027.904	3.980	V	1971 - V
3	RIO CARACARANI EN HUMAPALCA	01201005-2	425.680	8.026.683	3.908	V	1956 - V
4	RIO LLUTA EN ALCÉRRECA	01201003-6	432.810	8.008.929	3.550	V	1956 - V
5	ALCÉRRECA	01201010-9	430.082	8.010.507	3.990	V	1971 - V
6	METEOROLOGICA DE COLPITAS (*)	01201011-7	452.082	8.014.925	4.140	V	2016 - V
7	PUTRE - DCP	01202012-0	440.670	7.987.797	3.560	V	2002 - V
8	QUEBRADA SOCOROMA (**)	01202013-9	435.895	7.981.378	2.975	V	2017 - V
9	PUQUIOS	01110001-5	4211.14	7.990.495	3.750	S	1975 - 1981
10	PACOLLO	01202009-0	446.149	7.990.138	4.185	S	1978 - 2016
11	LAS CUEVAS CONAF	01202011-2	446.042	7.986.419	4.060	S	1986 - 2007
12	LLUTA	01211006-5	376.506	7.963.998	290	S	1966 - 2013
13	PUTRE	01202010-4	440.751	7.987.664	3.545	S	1976 - 2012

(\*) Datos a partir de 2018, (\*\*) Sin datos, V: Vigente, S: Suspendida

Fuente: elaboración propia en base a antecedentes BNA-DGA.



Fuente: elaboración propia, base Mapoteca DGA y estudio DGA (2016).

**Figura 2.50 Ubicación de las estaciones meteorológicas de la DGA en la cuenca del Río Lluta. Número indica el nombre de la estación en la Tabla 2.39.**

En materia de densidad de estaciones meteorológicas, la Organización Meteorológica Mundial (OMM), en su Guía de prácticas hidrológicas (OMM, 1994) recomienda una estación por cada 2.500 km<sup>2</sup> en zonas montañosas y cada 5.750 km<sup>2</sup>, para llanuras interiores y zonas escarpadas u ondulantes. Recordando el área de la cuenca de 3.415 km<sup>2</sup> resulta en que las 8 estaciones meteorológicas vigentes de la cuenca son adecuadas. Sin embargo, todas ellas se encuentran en la subcuenca de Lluta alto.

### **Estaciones fluviométricas**

La cuenca del río Lluta cuenta con una red de monitoreo activa de 12 estaciones fluviométricas administradas por la DGA, de las cuales 6 aparecen como vigentes, sin embargo, sólo 5 se encuentran actualmente activas. Las coordenadas y periodos de información disponible de las estaciones se presentan en la Tabla 2.40 y se muestran en la Figura 2.51. En la sección 3.3 del Anexo J se incluyen mayores antecedentes respecto al tipo e instrumentación de las estaciones vigentes.

**Tabla 2.40 Resumen de las estaciones fluviométricas controladas por la DGA en la cuenca del Río Lluta. Ver ubicación en Figura 2.51 según número (#)**

#	Nombre Estación Fluviométrica DGA	Código BNA	Datum WGS84 H19S		Altitud (m s.n.m.)	Estado	Periodo
			UTM Este	UTM Norte			
1	RÍO CARACARANI EN HUMAPALCA	01201005-2	425.138	8.027.538	3.908	V	1956 - V
2	RÍO COLPITAS EN ALCÉRRECA	01201001-K	433.562	8.010.220	3.251	V	1956 - V
3	RÍO LLUTA EN ALCÉRRECA	01201003-6	433.023	8.009.292	3.550	V	1956 - V
4	QUEBRADA SOCOROMA (**)	01202013-9	435.895	7.981.378	2.975	V	2017 - V
5	RÍO LLUTA EN TOCONTASI (*)	01210001-9	403.222	7.968.291	1.850	V	1960 - V
6	RÍO LLUTA EN PANAMERICANA	01211001-4	363.056	7.965.141	10	V	1960 - V
7	RIO AZUFRE EN HUMAPALCA	01200001-4	422.351	8.013.349	3.970	S	1975 - 1983
8	RIO CARACARANI EN ALCÉRRECA (**)	01201002-8	433.288	8.011.145	3.253	S	1956 - 1984
9	RIO LLUTA EN JAMIRAYA	01202001-5	429.520	7.982.001	2.589	S	1937 - 1944
10	RIO LLUTA EN CHAPISCA (**)	01210003-5	406.228	7.968.618	1.850	S	1987 - 1995
11	RIO LLUTA EN EL MOLINO	01210002-7	399.989	7.968.009	950	S	1956 - 2002
12	RIO LLUTA EN PUENTE VIEJO KM 15	01211002-2	366.025	7.964.666	11	S	1979 - 1988

(\*) Datos discontinuos, (\*\*) Sin datos, V: Vigente, S: Suspendida

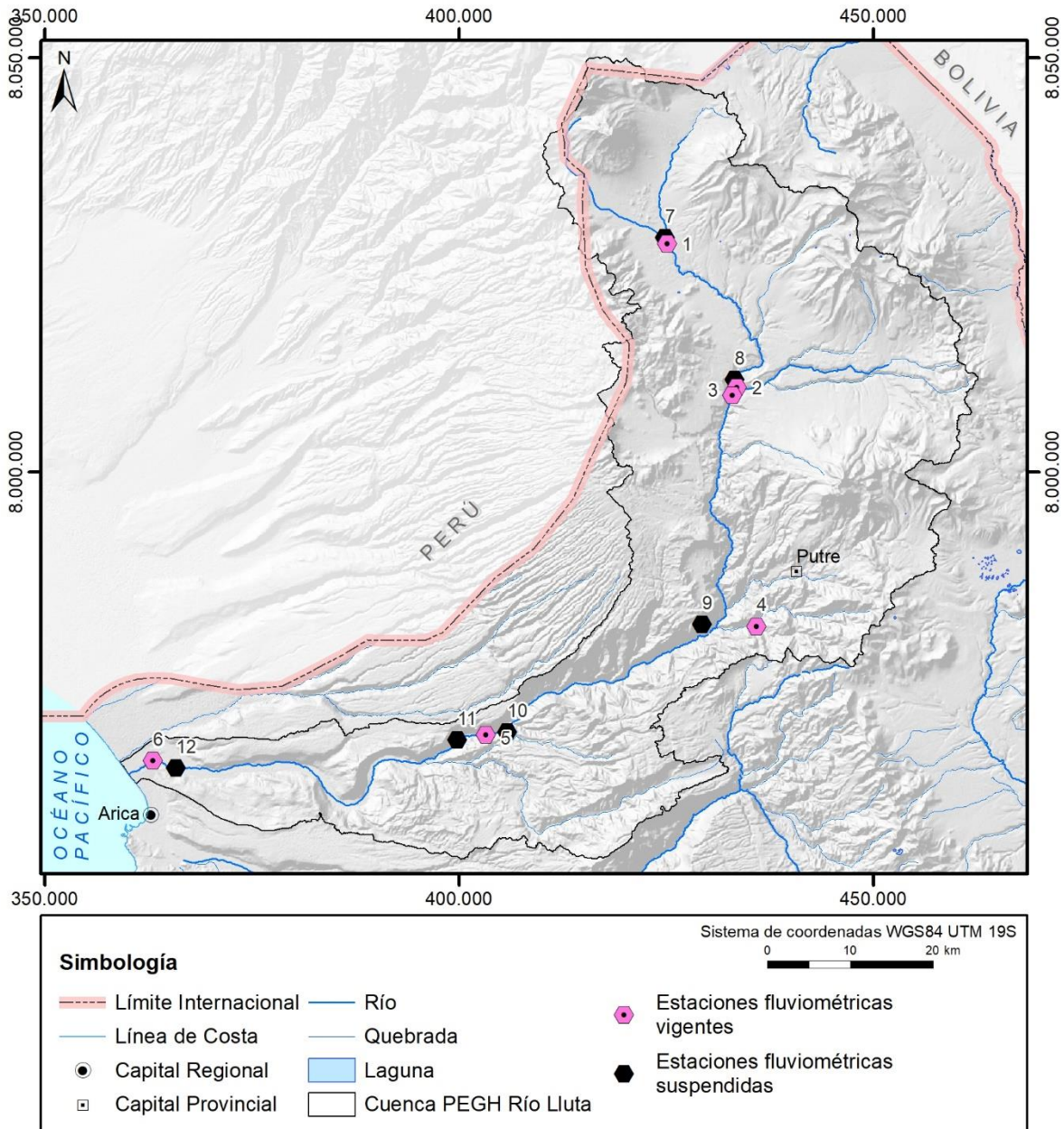
Fuente: elaboración propia.

Las estaciones fluviométricas de la cuenca presentan problemas de inundación, socavación y sedimentación la mayoría de los años, producto de las crecidas del río Lluta en periodo estival, por lo que posteriormente se deben rehabilitar y quedan con largos periodos de tiempo sin registro. Este es el caso de la estación Río Lluta en Tocontasi, que registra toda el agua superficial que entra al valle de Lluta, pero que desde la década de 1980 ha presentado problemas para registrar datos, sobre todo luego de eventos extremos que han destruido parcial o totalmente la estación. Para fundamentar lo anterior, el estudio DGA (2011b) incorpora mayores antecedentes:

- Río Lluta en Tocontasi: La estación sirve para un periodo de retorno de 15 años, ya que con las crecidas se va. Además, presenta el problema de que en el tiempo se forma una isla en medio de ella, en la cual crece vegetación e incluso árboles. En periodos de crecida el cauce se desvía por un costado, por lo cual no presenta mediciones absolutamente confiables.
- Río Lluta en Panamericana: Tiene una capacidad de 300 m<sup>3</sup>/s, funciona sin problema para caudales normales, aunque puede presentar problemas para

medir caudales bajos, debido a la vegetación existente. Para el registro de crecidas, si bien se comporta mejor que Río Lluta en Tocontasi, se recomienda correrla bajo los estribos del puente. Durante ciertos eventos la estación ha sufrido graves daños, mientras que en otras no ha tenido inconvenientes.

- Río Lluta en Alcérreca: No presenta mayores problemas en condiciones de caudales normales, pero ante crecidas el mayor problema que presenta es que el fondo se socava, por lo que las mediciones recogidas en la estación se encuentran influenciadas por este hecho.



Fuente: elaboración propia, base Mapoteca DGA y estudio DGA (2016).

**Figura 2.51 Estaciones fluviométricas DGA en la cuenca del río Lluta. Número indica el nombre de la estación en la Tabla 2.40.**

En cuanto a la calidad referida a la densidad de estaciones fluviométricas, según la guía OMM (1994), se recomienda como mínimo una estación por cada 1.000 km<sup>2</sup> para zonas montañosas, y una estación por cada 1.875 km<sup>2</sup> para llanuras interiores y zonas escarpadas u ondulantes. Esto implicaría para la cuenca del río Lluta, contar con entre 2 a 3 estaciones, por lo que desde el punto de vista de densidad de estaciones, las actuales 6 estaciones vigentes de la cuenca sobrepasan este criterio.

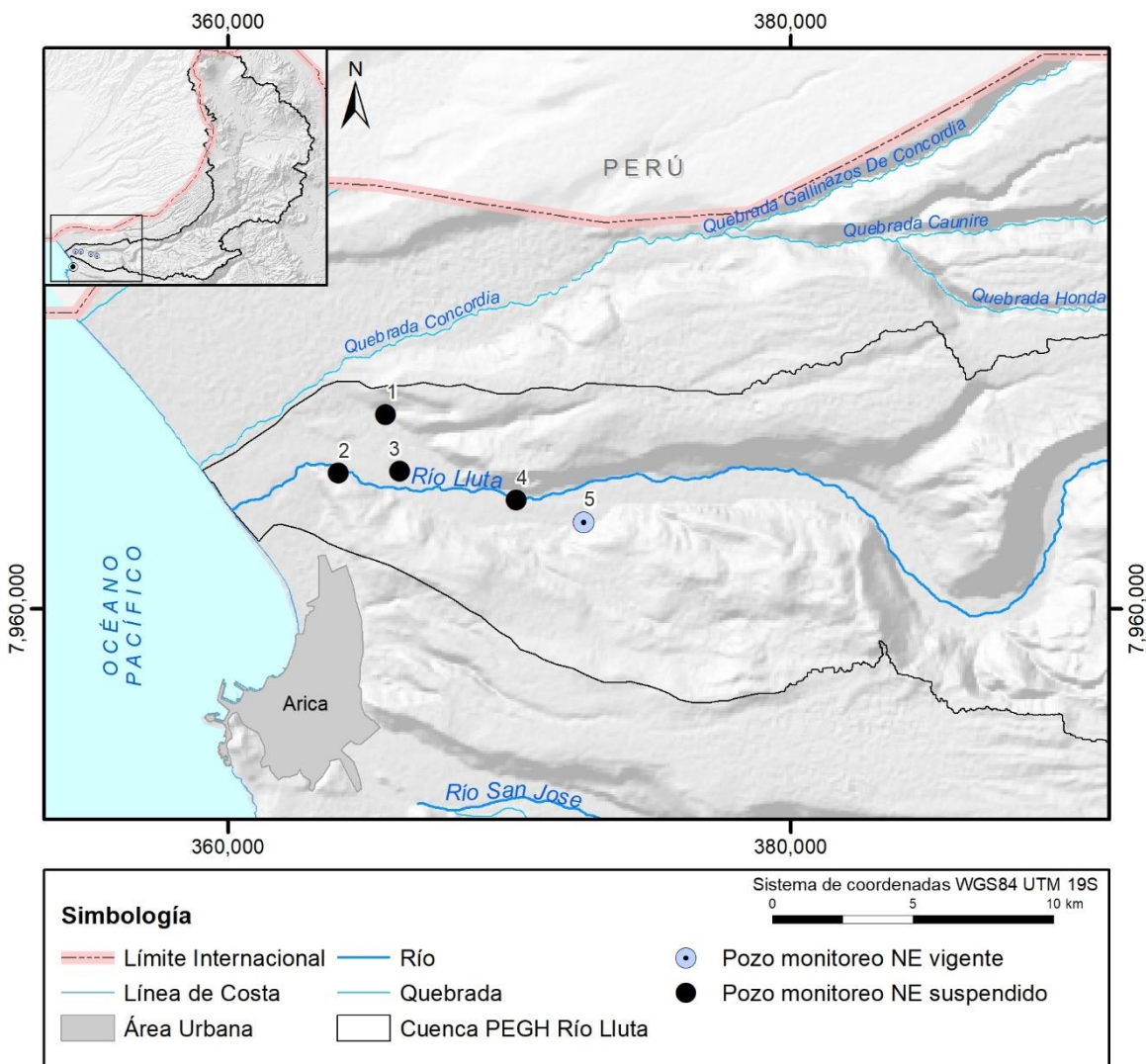
**Niveles de pozos**

En el acuífero del valle de Lluta se ubican cuatro pozos de monitoreo, los pozos J-1, J-2, J-A, y J-B, que se construyeron en el estudio de la DGA (1995). Estos pozos cuentan sólo con registro de medición de nivel estático del acuífero, cuya descripción se presenta en la Tabla 2.41 y cuya ubicación se muestra en la Figura 2.52. Dada la redefinición de la cuenca Lluta por este estudio, se incluye la estación La Concordia D2, la cual, según cuencas BNA, se ubica en la cuenca de la quebrada La Concordia.

**Tabla 2.41 Pozos de Monitoreo de la DGA (Pozos JICA) en la cuenca del Río Lluta. Ver ubicación en Figura 2.52 según número (#).**

#	Pozo	Código BNA	Coordenada WGS84		Altitud (m s.n.m.)	Periodo	Estado
			Norte	Este			
1	La Concordia D2	01110003-1	7.966.907	365.598	0	1962-2019	Suspendida
2	Pozo JICA J-B	01211007-3	7.964.829	363.899	112	1990-2020	Suspendida
3	Pozo JICA J-2	01211009-K	7.964.881	366.082	114	1990-2020	Suspendida
4	Pozo JICA J-A	01211010-3	7.963.864	370.231	183	1990-2020	Suspendida
5	Pozo JICA J-1	01211008-1	7.963.082	372.638	223	1990	Vigente

Fuente: elaboración propia en base a datos SINIA (DGA).



Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.52 Ubicación de los pozos de monitoreo de la DGA en la cuenca del río Lluta.**

La guía OMM (1994) indica que para la construcción de una adecuada red de observación de aguas subterráneas, se deben considerar diversos parámetros y no solo la medición de niveles. Observando la distribución de los pozos, es posible notar que estos están concentrados en el sector poniente, y la falta de puntos de observación aguas arriba.

### **Estaciones de calidad de agua**

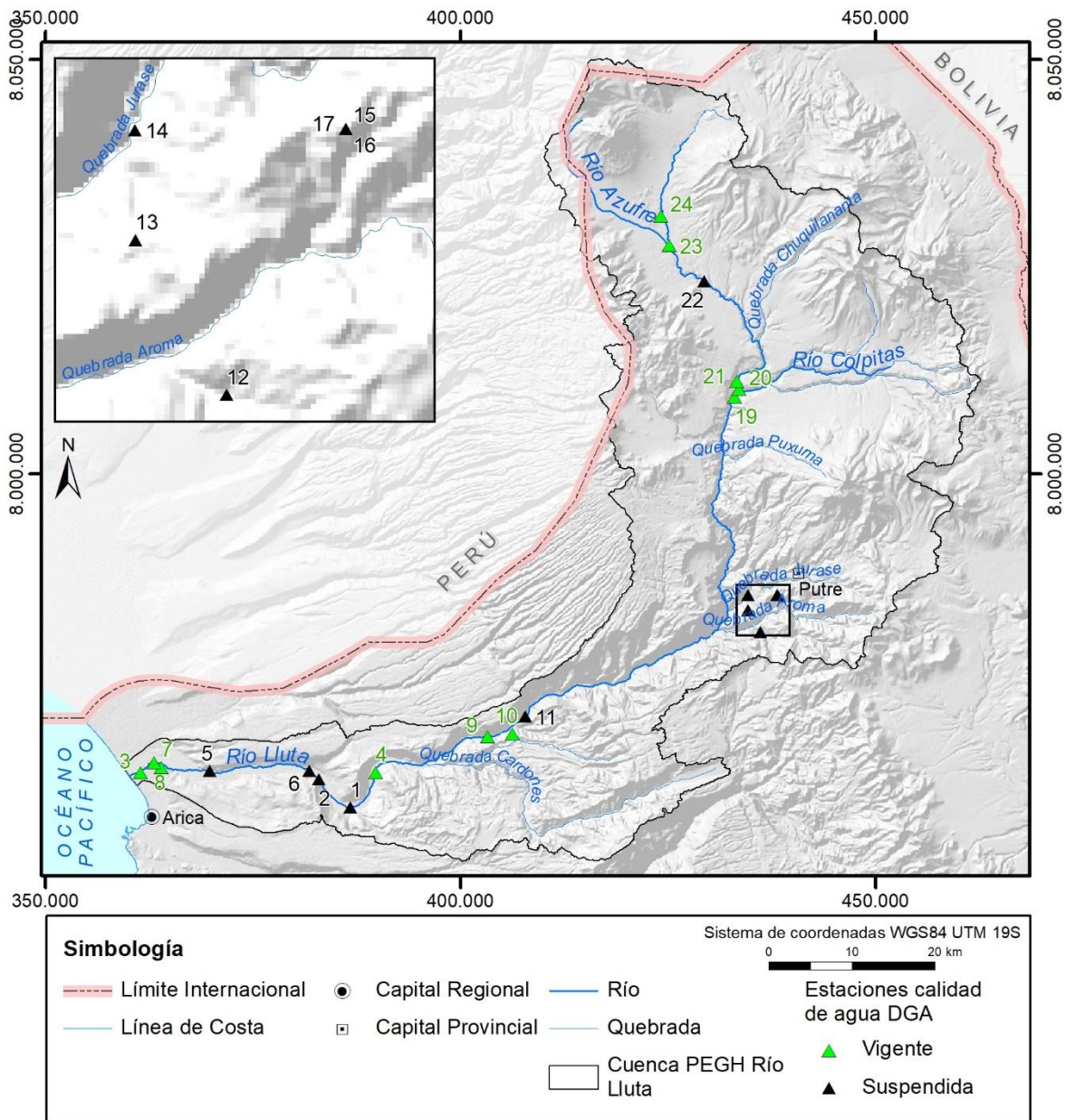
La cuenca del río Lluta cuenta con una cantidad importante de estaciones de calidad de agua, cuyas estaciones en su mayoría monitorean el agua superficial, sin embargo, hay un par de estaciones de agua subterránea (Pozos JICA J-B y Gallinazos). La descripción de estas estaciones se presenta en la Tabla 2.42 y se muestra en la Figura 2.53. La

estación Río Lluta en Tocontasi es, además, la única estación sedimentométrica de la cuenca.

**Tabla 2.42 Listado de estaciones de calidad del agua de la cuenca del Río Lluta controladas por la DGA. Ver ubicación en Figura 2.53 según número (#).**

#	Estación Calidad de Agua	Código BNA	Coordenadas UTM WGS 84		Estado	Naturaleza
			Este	Norte		
1	Río Lluta en Poconchile (CA)	01210004-3	386.732	7.959.753	Suspendida	Superficial
2	Río Lluta en puente Chacabuco (CA)	01211004-9	382.917	7.963.169	Suspendida	Superficial
3	Pozo Gallinazos	01110013-9	361.412	7.963.920	Vigente	Subterránea
4	Vertiente al Pichin	01210005-1	389.789	7.963.920	Vigente	Superficial
5	Río Lluta en Santa Lucía (CA)	01211005-7	369.791	7.964.137	Suspendida	Superficial
6	Río Lluta en Rosario (CA)	01211003-0	381.746	7.964.171	Suspendida	Superficial
7	Pozo JICA J-B	01110012-0	363.931	7.964.553	Vigente	Subterránea
8	Río Lluta en Panamericana	01211001-4	363.056	7.965.141	Vigente	Superficial
9	Río Lluta en Tocontasi	01210001-9	403.222	7.968.291	Vigente	Superficial/ sedimentográfica
10	Río Lluta en Chapisca	01210003-5	406.228	7.968.618	Vigente	Superficial
11	Río Lluta en El Molino	01210002-7	407.764	7.970.717	Suspendida	Superficial
12	Quebrada Socoroma en Coca (CA)	01202008-2	436.118	7.980.905	Suspendida	Superficial
13	Vertiente Llaucona en Putre (CA)	01202004-K	434.595	7.983.503	Suspendida	Superficial
14	Vertiente Llaucona en Llaucona (CA)	01202003-1	434.589	7.985.346	Suspendida	Superficial
15	Vertiente Taipicagua (CA)	01202002-3	438.114	7.985.358	Suspendida	Superficial
16	Vertiente Tojotojoni (CA)	01202005-8	438.114	7.985.358	Suspendida	Superficial
17	Río Cubrinani en Putre (CA)	01202006-6	438.114	7.985.358	Suspendida	Superficial
18	Canal Llussuma en Putre (CA)	01202007-4	438.114	7.985.358	Suspendida	Superficial
19	Río Lluta en Alcérreca	01201003-6	433.023	8.009.292	Vigente	Superficial
20	Río Colpitas en Alcérreca	01201001-K	433.562	8.010.220	Vigente	Superficial
21	Río Caracarani en Alcérreca	01201002-8	433.288	8.011.145	Vigente	Superficial
22	Río Caracarani en Sica Sica (CA)	01201009-5	429.315	8.023.216	Suspendida	Superficial
23	Río Caracarani en Humapalca	01201005-2	425.138	8.027.538	Vigente	Superficial
24	Río Azufre antes Río Caracarani (CA)	01201008-7	424.085	8.031.119	Vigente	Superficial

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Mapa hidroquímico de Chile, DGA (2019a).



Fuente: elaboración propia con datos del Mapa hidroquímico de Chile, DGA (2019a).

**Figura 2.53 Estaciones de Calidad de Agua DGA en la Cuenca del Río Lluta.**

Para el diagnóstico de la actual red de medición de calidad superficial, la guía OMM (1994) indica que los criterios dependen considerablemente de los objetivos que se tengan. Sin embargo, entrega algunos criterios generales para ríos, que se listan a continuación:

1. Inmediatamente aguas abajo de una frontera internacional
2. Derivación para el abastecimiento público de una ciudad importante
3. Zona importante de pesca, recreación y diversión
4. Derivación para el riego agrícola a gran escala

5. Límite de influencia de las mareas sobre el río principal
6. Derivación para gran abastecimiento industrial
7. Aguas abajo de descargas de efluentes industriales y afluente importante que influyen el río principal
8. Estación básica de línea, agua en estado natural

Las estaciones de monitoreo del río Lluta en general cumplen con el criterio 8 en el sector alto, y con el 2, 4 y 5 en el sector bajo.

Para el diagnóstico de la actual red de calidad subterránea, se consultó el estudio de la DGA (2017b), que define algunos criterios. Por ejemplo, recomienda un punto cada 150 km<sup>2</sup> para acuíferos con sobreexplotación, y uno cada 200 km<sup>2</sup> en caso de no estar sobreexplotado. Según este estudio, el acuífero del Lluta bajo tiene 2 pozos de monitoreo de calidad, y lo que se recomienda para este acuífero es 5 pozos, por lo que tendría un déficit teórico de 3 puntos de monitoreo de calidad de aguas subterráneas.

Por otro lado, el estudio "Criterios para la implementación de redes de monitoreo de aguas subterráneas" (DGA, 2019b) sugiere una densidad de pozos de monitoreo óptima para un acuífero con intrusión salina, como es el caso del Lluta bajo, menor a 10 km<sup>2</sup> por pozo. Bajo este criterio, faltarían pozos de monitoreo ubicados hacia la costa, para monitorear localmente la intrusión salina del acuífero.

### **Red glaciológica y de nieves**

La cuenca del río Lluta no cuenta con ninguna estación de medición glaciológica o de nieves.

## **2.5 Nuevas fuentes existentes**

A continuación, se presentará la información respecto a nuevas fuentes de agua existentes, iniciativas o proyectos que busquen aumentar la oferta hídrica, entre las que se cuenta nuevos acuíferos, recarga artificial de acuíferos, desalinización de agua y uso de aguas servidas tratadas.

### **2.5.1 Nuevos acuíferos**

En la zona alta de la cuenca, entre Caracarani y Alcérreca existen algunas unidades geológicas de importancia hidrogeológica, tanto intergranulares como fracturadas, que podrían constituir acuíferos de un almacenamiento considerable. Sin embargo, no se han realizado exploraciones que permitan precisar la definición de estas unidades (acuíferos, acuitardos o acuífugos), la geometría espacial y en profundidad de las unidades, los niveles piezométricos, así como el dimensionamiento de los parámetros hidráulicos.

### **2.5.2 Recarga de Acuíferos**

En la cuenca no existen obras ni iniciativas de recarga artificial de acuíferos, sin embargo, esta metodología se ha evaluado en la cuenca en al menos dos estudios.

La recarga gestionada o artificial de agua a los sistemas acuíferos, es una interesante forma de almacenar el recurso, sobre el cual se han desarrollado algunos estudios en la cuenca del río Lluta. Ejemplo de esto son los estudios y experiencias que se han realizado principalmente en la zona central de Chile. Sin embargo, la recarga se debe analizar caso a caso (Cabrera, 2014), evaluando las condiciones hidrogeológicas, disponibilidad de aguas para recarga, aspectos legales y factibilidad técnica y económica.

Al analizar lo favorable de la cuenca del río Lluta para la recarga artificial, Cabrera (2014) señala que la "Cuenca del río Lluta presenta flujos permanentes en los cauces, los cuales propician que se mantenga una napa subterránea relativamente superficial, conectada directamente con el río, la que recibe permanente alimentación de los canales de riego de ese valle. El agua subterránea es parcialmente aprovechada, por lo que no resulta ni atractivo ni necesario en esta cuenca pensar en proyectos de recarga artificial."

La CNR también ha llevado a cabo estudios, como el "Estudio diagnóstico de zonas potenciales de recarga de acuíferos en las regiones de Arica y Parinacota a la región del Maule" (CNR, 2013), encargado por la Comisión Nacional de Riego a GCF Ingenieros Ltda. y cuyo resumen, incorporado en el trabajo de Cabrera (2014), se presenta en el párrafo anterior.

En cuanto a la DGA, en su estudio DGA (2014b), establece una evaluación nacional, a nivel de cuenca, jerarquizando cada una de éstas en función de un índice normalizado según una evaluación multicriterio. Según este ranking, la cuenca del Lluta queda en el duodécimo lugar, con 143,2 km<sup>2</sup> favorables para implementar esta técnica, con un índice de 0,56, siendo 1 lo más favorable y 0, desfavorable.

### 2.5.3 **Desalinización**

En la salida de la cuenca, antes de llegar a la panamericana, se ubica la planta desalinizadora de la empresa sanitaria Aguas del Altiplano, la que se alimenta del agua subterránea de los pozos que se ubican en el acuífero del valle de Lluta y abastece de agua potable a la ciudad de Arica. Este tratamiento se logra mediante el método de la osmosis inversa que se realiza a las aguas salobres del acuífero, que logra filtrar las sales. El agua potable tratada en esta planta abastece en parte a la ciudad de Arica.

Una planta desalinizadora tiene una inversión inicial y costos de operación elevados, sin embargo, los costos energéticos han ido disminuyendo con el tiempo.

### 2.5.4 **Uso de aguas servidas tratadas**

En la cuenca no existe tratamiento de aguas servidas, y menos el uso de ellas. Sin embargo, el reúso de las aguas servidas podría ser una de las mejores nuevas fuentes, ya que el caudal que se podría obtener en la ciudad de Arica es de casi 500 l/s.

El tratamiento de las aguas servidas dependerá del uso que se le quiera dar, es decir, si se quiere usar para riego sólo será necesario un tratamiento secundario. Y si se quiere para bebida u otro, será necesario un tratamiento terciario. Tanto los costos de inversión

inicial como los de operación son elevados, sin embargo, los costos energéticos han ido disminuyendo en el tiempo, y podrían ser más favorables a futuro.

### 2.5.5 Atrapanieblas

Los atrapanieblas son un sistema de captación de las gotas microscópicas de agua presentes en la niebla, producto de la evaporación del agua de mar. Los atrapanieblas son aparatos que están compuestos por una malla rashell que se suspende verticalmente entre dos postes e intercepta las gotas a medida que el viento empuja la neblina a través de ella. El agua se condensa y escurre por la malla hasta una tubería cortada en media caña que permite almacenarla y distribuirla para diferentes usos.

Durante las últimas décadas, varios investigadores chilenos de varias universidades han aplicado varios proyectos pilotos en diversos sectores costeros del norte de Chile. Sin embargo, los atrapanieblas no se constituyen como una gran Nueva Fuente de agua, ya que los volúmenes que se obtienen son del orden de litros al día, el que solo permite el abastecimiento de unas cuantas personas. Además, los sistemas (mallas, cañerías) tienen una vida útil corta (2 años) producto que se queman con los rayos UV. Es más, una aplicación reciente en el sector de Pampa Dos Cruces (Azapa) instaló cuatro atrapanieblas de 48 m<sup>2</sup> en total obteniendo un caudal de 2000 l/día (0,02 l/s). Por lo tanto, constituye una tecnología que aún está en desarrollo para obtener grandes volúmenes.

## 2.6 Gobernanza del agua a nivel cuenca

La gobernanza del agua a nivel de cuenca da cuenta de las formas en la que los actores de la Cuenca de Lluta se vinculan, pensando en la gestión de un Plan que permita el manejo del recurso hídrico en este territorio. Dentro de las actividades realizadas para caracterizar la gobernanza del agua en la cuenca se encuentran:

- el mapa de actores/agentes relevantes en materia hídrica de la cuenca,
- una síntesis de las problemáticas levantadas en las reuniones de participación ciudadana,
- aspectos relativos a las brechas de coordinación e información existentes,
- una revisión de las instancias actuales de relación entre actores y de algunas experiencias internacionales de gobernanza de agua.

Esto permitirá tener una idea panorámica del contexto en el que los distintos actores/agentes de esta cuenca se vinculan, estableciendo los ejes respecto a los que se debe prestar mayor atención a la hora de implementar este PEGH.

### 2.6.1 Mapa de agentes

Se convocaron agentes y/o actores relevantes en la temática hídrica en la Cuenca de Lluta. La definición de "actor relevante" y la metodología de detección de éstos se detallan en las secciones 3.4.5 y 3.4.6 del Anexo F, en tanto, en la sección 3.3 del Anexo

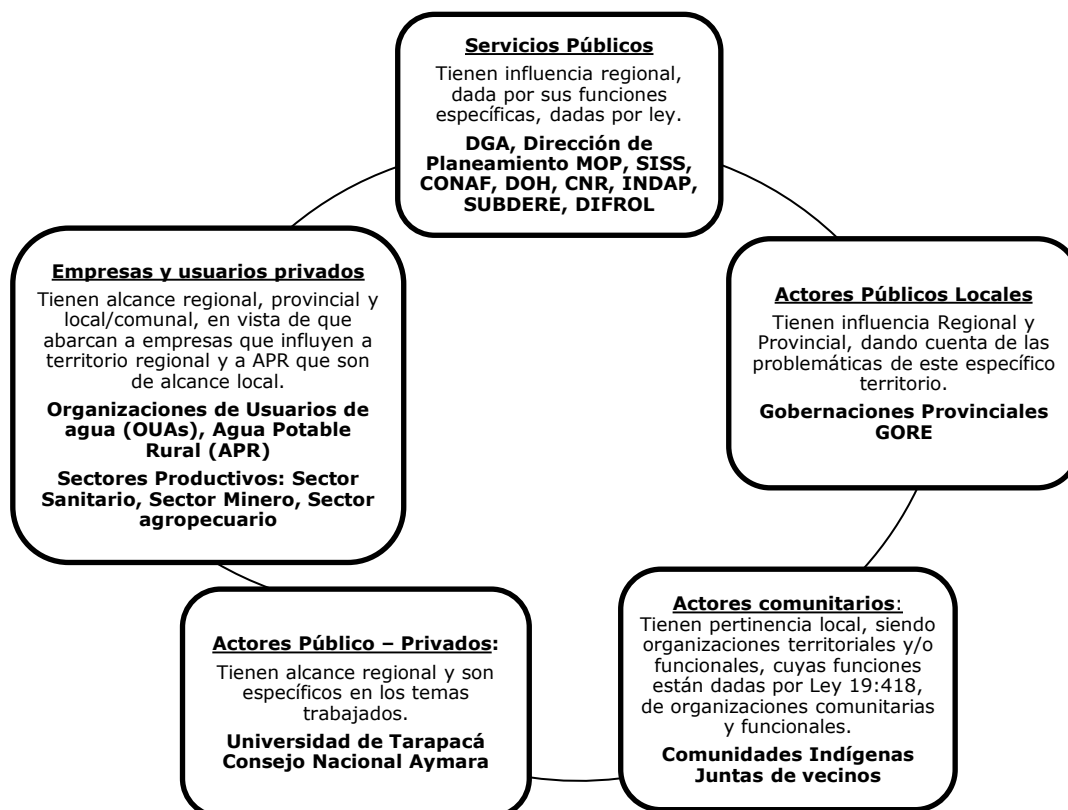
I se entrega el detalle de los actores de la cuenca, más las minutas de las reuniones y talleres realizadas en el marco de las actividades de Participación Ciudadana (PAC).

### **Agentes en el territorio**

A partir del proceso desarrollado en la etapa de diagnóstico, se realizó un análisis que permitió acotar la nómina de actores específicos a convocar, los que se detallan en la sección 3.3 del Anexo I. A partir de ese punto se determinó un listado de actores en la cuenca de Lluta, todos ellos vinculados al recurso hídrico. Cabe mencionar que este listado está en concordancia con las bases técnicas de este estudio.

El listado acotado de actores de esta cuenca se divide en cinco grupos, cuyo detalle (definición y tipos) se encuentra en la sección 3.2 del Anexo I de este informe, pero que es necesario aclarar que su definición está anclada en el territorio. Esto quiere decir que el tipo de actor señalado en el informe está determinado por su presencia y acción territorial, lo que es algo consustancial a la propia determinación de estos actores. Desde esta perspectiva, al expresar el tipo de actor, se está haciendo referencia de forma directa a su territorio de acción.

De este modo, la relación de estos actores con el territorio se produce a partir de su propia naturaleza y tipología, expresada sintéticamente en el esquema de la Figura 2.54.



Fuente: elaboración propia, 2021.

**Figura 2.54 Representación general de actores/agentes vinculados al recurso hídrico, PAC Lluta, 2021.**

Las relaciones, intereses e influencia de estos actores en las decisiones respecto al recurso hídrico se presentan en este subcapítulo subsección **Relaciones interés / influencia**, donde se entrega un mapeo específico por actor. Sin embargo, es importante mencionar en este punto que las funciones de los distintos actores están definidas desde sus misiones específicas, dadas por Ley. Asimismo, la columna de la Tabla 2.43, denominada **Presencia en temas hídricos**, da cuenta de la función que el actor específico presenta en esta cuenca en particular.

**Mapa de actores convocados**

A partir de la información levantada en el diagnóstico de la cuenca y de los criterios definidos en la metodología, la Tabla 2.43 especifica la situación de cada agente/actor efectivamente convocado a las actividades participativas programadas y realizadas; además se presenta el grado de influencia/interés de esos actores. Para la asignación del grado de influencia/interés, se debe considerar que el grado de influencia del actor se relaciona a la toma de decisiones sobre la gestión de recursos hídricos en el territorio; mientras que el grado de interés, se relaciona con el nivel de interés respecto a la temática, en términos de necesidad y/o beneficios, respecto de las determinaciones de inversión, en proyectos, estudios o programas, etc. (CNR, 2016).

**Tabla 2.43 Actores Relevantes convocados a PAC, Cuenca del río Lluta**

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA	GRADO DE INTERÉS	RELACIÓN CON OTROS ACTORES
<p>Secretaría Regional Ministerio de Obras Públicas (SEREMI MOP).</p> <p>Región de Arica y Parinacota</p>	<p>La SEREMI es la entidad representante del MOP en la región y cumple el rol de poner en marcha las políticas públicas que les son propias, como el supervigilar e informar acerca de las obras de infraestructura pública, así como de las inversiones correspondientes.</p>	<p>Realiza obras de infraestructura de riego, construcción de embalses, mejoramiento de tranques, canales; en resumen, todo lo que se relaciona con infraestructura hídrica</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>Fuerte relación con servicios públicos de su dependencia: entre los que se cuentan DGA y DOH.</p> <p>Se vincula en el territorio con los Comités de APR y con OUA.</p>
<p>Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio de Obras Públicas (MOP).</p> <p>Región de Arica y Parinacota</p>	<p>La Dirección General de Aguas es el organismo del Estado que se encarga de promover la gestión y administración del recurso hídrico, así como también proporcionar y difundir la información generada por su red hidrométrica y la contenida en el catastro público de aguas.</p>	<p>Tiene relación con el otorgamiento de DAA; supervigilancia de OUA; generación de información del recurso hídrico por medio de la red hidrométrica, declaraciones de escasez hídrica y con fiscalizaciones sobre extracciones.</p> <p>También coordinan los programas de investigación que lleven a cabo organismos públicos y privados con fondos estatales.</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>Los vínculos de la DGA en la cuenca se identifican con APR y con las OUA del territorio.</p> <p>Se relacionan, además, con entidades privadas, como Aguas del Altiplano y Mineras de la zona.</p> <p>DGA se relaciona con otros servicios públicos de acuerdo con el mandato legal</p>
<p>Gobierno Regional (Arica y Parinacota) y Gobernaciones provinciales (de Arica y Parinacota)</p>	<p>Su misión es apoyar el ejercicio del gobierno en los distintos territorios que son de su jurisdicción.</p>	<p>Ejercen la supervigilancia de los servicios públicos creados por ley para el cumplimiento de los lineamientos del GORE respecto a temas relacionados a la gestión hídrica, con el objetivo de reducir los niveles de vulnerabilidad ante emergencias hídricas y el abastecimiento de agua, como camiones aljibe que en la cuenca de Lluta</p>	<p>Alto</p>	<p>Medio</p>	<p>Se relaciona de manera directa con otros actores públicos como DOH, DGA, SEREMI Agricultura, SEREMI Minería.</p>

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA	GRADO DE INTERÉS	RELACIÓN CON OTROS ACTORES
		son relevantes en la gestión del recurso hídrico.			
<p>Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Región de Arica y Parinacota</p>	<p>Su misión es garantizar a los clientes de los servicios de agua potable y saneamiento de las zonas urbanas de la región, que éstos correspondan a los ofrecidos; y asegurar a la comunidad, que el agua una vez utilizada será tratada para ser devuelta a la naturaleza de forma compatible con un desarrollo sustentable.</p>	<p>Es el organismo normativo y fiscalizador de las empresas concesionarias que prestan los servicios de agua potable y alcantarillado.</p>	Alto	Alto	<p>Se relaciona con las empresas sanitarias (Aguasdel Altiplano en esta cuenca) como ente fiscalizador. Además se vincula con los usuarios del sistema de agua potable urbana, y también se vincula con entidades públicas como el MOP, DOH, DGA, GORE, entre otros.</p>
<p>Corporación Nacional Forestal. Ministerio de Agricultura. Región de Arica y Parinacota</p>	<p>Entidad de derecho privado dependiente del Ministerio de Agricultura, cuya principal tarea es administrar la política forestal de Chile y fomentar el desarrollo del sector.</p>	<p>Apoya el uso sustentable del recurso hídrico, implementa nuevas tecnologías de plantación y riego en todo el país.</p>	Alto	Alto	<p>Se relaciona con organismos públicos del MOP tales como DOH y DGA; también se relaciona con APR además de otras organizaciones privadas estratégicas.</p>
<p>Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Ministerio de Obras Públicas (MOP). Región de Arica y Parinacota</p>	<p>Provee los servicios de infraestructura hidráulica que permitan el óptimo aprovechamiento del agua y la protección del territorio y de las personas.</p>	<p>Realiza obras de infraestructura de riego, construcción de embalses, mejoramiento de tranques, canales; en resumen, todo lo que se relaciona con infraestructura hídrica. Entre sus objetivos se observa la necesidad de proveer de infraestructura de regadío que permita disponer del recurso hídrico, para incorporar nuevas áreas al riego y/o aumentar la seguridad de riego, proveer de infraestructura de red primaria para la evacuación y drenaje de aguas lluvias; proveer de infraestructura para proteger las riberas de cauces naturales, para contrarrestar los efectos de los procesos</p>	Alto	Alto	<p>La Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) trabaja en conjunto con todas las reparticiones públicas. Entre éstos: con la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) generaron un procedimiento para la evaluación y otorgamiento de permisos para la ejecución de obras de regularización o defensa de cauces naturales. Otro vínculo de la DOH es de</p>

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA	GRADO DE INTERÉS	RELACIÓN CON OTROS ACTORES
		aluvionales, y proveer de infraestructura para el abastecimiento de agua potable a las localidades rurales.			coordinación con los comités de APR y algunas OUA de la cuenca.
<p>Comisión Nacional de Riego (CNR). Ministerio de Agricultura (MINAGRI).</p> <p>Región de Arica y Parinacota</p>	<p>La Comisión Nacional de Riego es un organismo público, creado en 1975, con el objetivo de asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país. En 1985 se incorporó sus funciones el fomento de obras privadas de construcción y reparación de obras de riego y drenaje.</p>	<p>A través de la Ley de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje (Ley N° 18.450), bonifica la construcción de proyectos de obras de riego y/o drenaje, a través de la cual la mayoría de OUA mejoran su infraestructura. Además, desde su nivel central, la CNR genera diversos estudios y programas de fortalecimiento de OUA, entre otros.</p>	Alto	Alto	<p>A través de programas y proyectos trabaja con otras entidades públicas tales como DOH, DGA y GORE; además, en su rol de ejecutor de iniciativas centralizadas, se vinculan directamente con los usuarios de agua relacionados al sector agropecuario.</p>
<p>Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario (INDAP), Ministerio de Agricultura (MINAGRI).</p> <p>Región de Arica y Parinacota</p>	<p>Es un servicio descentralizado que apoya a pequeños productores agrícolas mediante acciones orientadas a la generación y fortalecimiento del capital humano, financiero y productivo, que favorezcan a superar la pobreza y el desarrollo de la agricultura.</p> <p>Sus beneficiarios pueden ser Pequeño/a productor/a, Pequeño(a) productor(a) agrícola o Pequeño(a) productor(a) campesino/a</p>	<p>Este organismo cuenta con recursos para implementar obras de acumulación de agua, distribución y riego en predios, además de asesorías para la confección de los proyectos, para fomentar y apoyar a la Agricultura Familiar Campesina. Asimismo, implementa varios programas, como el de riego asociativo (PRA), el intra predial (PRI), obras menores de riego (PROM), bono legal de aguas (BLA), entre otros, en el marco de su acción.</p>	Alto	Alto	<p>Se relaciona directamente con agricultores y organismos públicos como GORE, SEREMI Agricultura, DOH, CONADI, entre otros; sobre programas de iniciativas y financiamiento para infraestructuras hidráulicas y capacitaciones.</p>
<p>Dirección Nacional de Fronteras y Límites (DIFROL)</p>	<p>Este es "un organismo asesor del Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile, cuya misión principal es preservar y fortalecer la integridad territorial del País, brindando asesoría profesional y técnica, en el ámbito jurídico y en el relativo a las ciencias de la Tierra... en materias de</p>	<p>En materias hídricas se preocupa de entregar información técnica que permita tener claridad del flujo de este recurso hacia el país y de la cantidad y calidad del mismo que deriva a Perú.</p>	Mediana	Alta	<p>Se vincula con los servicios públicos de la zona, con DGA y SISS, así como con la Junta de Vigilancia del río Lluta, la que quedó establecida a partir del proceso desarrollado en este PAC.</p>

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA	GRADO DE INTERÉS	RELACIÓN CON OTROS ACTORES
	fronteras y límites <sup>6</sup> .				
Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI)  Región de Arica y Parinacota	La misión de esta institución es promover, coordinar y ejecutar la acción del Estado en favor del desarrollo integral de las personas y comunidades indígenas, en temas económicos, sociales y culturales, así como impulsar su participación en la vida nacional, a través de la coordinación intersectorial, el financiamiento de iniciativas de inversión y la prestación de servicios a usuarios y usuarias.	Al incluir entre sus programas el de Tierras y Aguas, tiene directa relación con la temática hídrica, no tan solo desde una perspectiva económica, sino que cultural, que considera la cosmovisión de los distintos pueblos indígenas frente a este tema.	Alta	Alto	Se vincula con las Comunidades y Asociaciones Indígenas de la región, así como con los demás servicios públicos. Con algunos de ellos ha establecido convenios de trabajo, como con INDAP, PRODEMU.
Quiborax, Empresa Minera	Esta empresa es el mayor productor de ácido bórico de Sudamérica, con una capacidad instalada de 100.000 toneladas por año.	Son poseedores de derechos de agua, para generar valor económico a través de éstos.	Alto	Alta	Se relaciona con organismos como: DGA, SEREMI Minería, SEREMI Medio Ambiente, SEREMI Minagri, SAG, SEA, SEREMI MOP y alianzas estratégicas con privados de la zona.
Aguas del Altiplano, Empresa Sanitaria.	Es una empresa que entrega servicios sanitarios, dando cuenta de sus necesidades, contribuyendo a la mejora del medio ambiente y al desarrollo de las ciudades donde operan.	Proporciona el recurso hídrico al entorno urbano según su territorio operacional, con los requisitos de distribución de agua potable y tratamiento de aguas servidas establecidos por la normativa vigente.	Alto	Alto	Se relaciona con instituciones públicas, como SISS, DOH, DGA, así como con Comités de APR y otros organismos de su interés.
OUA: Junta de Vigilancia del Río	Las Juntas de Vigilancia administran	Las Juntas de Vigilancia son entidades reglamentadas en el código de aguas y que tienen por objetivo administrar las fuentes	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	Se vincula con otros organismos atinentes a los temas hídricos entre éstos

<sup>6</sup> DIFROL [en línea] [www.difrol.cl](http://www.difrol.cl) (visitado por última vez el 25/05/2021)

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA	GRADO DE INTERÉS	RELACIÓN CON OTROS ACTORES
Lluta y sus afluentes	cauces naturales de recurso hídrico.  Esta Junta de Vigilancia pertenece a la Convención de Canalistas de Chile y cuenta con 65 comunidades de agua de la parte baja de la Cuenca del río Lluta.	de agua y las obras a través de las cuales éstas son extraídas, captadas y/o conducidas.  Participan de la administración de los recursos hídricos y su distribución a sus miembros. Su objetivo es explotar y conservar las obras de aprovechamiento común y realizar los demás fines que la ley autoriza.			DGA y CNR.  Y en temas agrícolas se vincula con INDAP, entre otros actores que actúan en el territorio en relación a los temas agrícolas, como la Universidad de Tarapacá.
Comités o Cooperativas de Agua Potable Rural (APR)	Los comités se APR son "organizaciones comunitarias de base funcional" regidas por la Ley de Juntas de Vecinos, bajo el Decreto N° 58, de 1997, y la ley N° 19.418, sobre Juntas de Vecinos y demás organizaciones comunitarias del Ministerio del Interior.	Abastecer de agua potable a las localidades rurales, contribuyendo al desarrollo económico y a la integración social del país.	Alta	Alta	Poseen una estrecha relación con DOH. Además, algunos sistemas mantienen relaciones con Aguas del Altiplano, DOH y SISS en el abastecimiento de agua.
Juntas de vecinos de Putre	Son organizaciones comunitarias que se definen territorialmente a partir de la ley N°19.418 Su labor se centra en propiciar el desarrollo general de la comunidad que reside en ese territorio y defender sus intereses en todo tipo de temática.	Son las encargadas de velar por la calidad de vida de los habitantes de su jurisdicción, en la que se incorpora, también, la temática hídrica.  En el caso de Putre, las personas que componen estas Juntas son en su mayoría parte de algún pueblo indígena, con vínculos con el recurso a través de su labor agrícola y/o la posesión de derechos de agua.	Medio	Medio	Tienen relación con las Comunidades Indígenas, con el Consejo Nacional Indígena, el Municipio de Putre y la Gobernación de Parinacota.  Asimismo, se relacionan con diversos servicios públicos que operan en la zona.
Consejo Nacional Indígena	Es una iniciativa de la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI) representantes del pueblo indígena en la institucionalidad chilena. En Chile no hay parlamentarios indígenas, a diferencia de lo que ocurre en Nueva Zelanda, Australia, Canadá y en muchos otros países.	Son responsables de representar a las comunidades indígenas a nivel nacional. El tema del recurso hídrico es central en la línea de reconocer el derecho de estos pueblos a su acceso libre.	Medio	Medio	Su vínculo con el Estado se produce desde la Corporación Nacional Indígena a través del cual plantea las necesidades de la población indígena.

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA	GRADO DE INTERÉS	RELACIÓN CON OTROS ACTORES
Asociaciones ganaderas y agrícolas regionales	Las Asociaciones de ganaderos y agrícolas tienen injerencia en los recursos hídricos en vista de que son parte de su acción productiva. Están compuestas mayoritariamente por personas de ascendencia indígena, lo que les da un relevante rol en la gestión de los recursos medioambientales de la zona.	En la región de Arica y Parinacota son relevantes en temas hídricos por cuanto su interés productivo está estrechamente ligado con el acceso al recurso hídrico, que consideran unido al derecho de a la tierra.	Medio	Medio	Se relacionan con otras organizaciones productivas de la zona, así como con instituciones públicas como CORFO, CONAF e INDAP.
Comunidades Indígenas	<p>Las comunidades Indígenas de conformaron a partir de la Ley 19.253, las que son definidas como toda agrupación de personas pertenecientes a una misma etnia indígena y que se encuentren en una o más de las siguientes situaciones: Provengan de un mismo tronco familiar. Reconozcan una jefatura tradicional. Posean o hayan poseído tierras indígenas en común, entre otros.</p> <p>El Estado reconoce el derecho de los indígenas a mantener y desarrollar sus propias manifestaciones culturales, en todo lo que no se oponga a la moral, a las buenas costumbres y al orden público. El Estado tiene el deber de promover las culturas indígenas, las que forman parte del patrimonio de la Nación chilena.</p>	<p>El derecho a las tierras y aguas indígenas es parte de la Ley Indígena y de tratados internacionales validados por Chile, como el Convenio 169 de la OIT.</p> <p>Los temas hídricos, por tanto, son parte relevante de la propia identidad cultural de estos pueblos por los que tienen alta injerencia en los mismos.</p>	Medio	Medio	Su vínculo con los Servicios Públicos del Estado se produce desde la Corporación Nacional Indígena, desde la cual se generan convenios con los demás servicios. Asimismo, se establecen vínculos entre los distintos servicios públicos con las comunidades indígenas de forma directa, como los que establece INDAP a través de sus distintos programas y otros fondos públicos.
Instituciones	Las Universidades son instituciones de estudios superiores que pueden operar	Proporcionan información científica que permite tomar decisiones acordes a la realidad objetiva de cada cuenca. Por su	Medio	Medio	Se relacionan con distintos servicios públicos y con agentes privados, nacionales e

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA	GRADO DE INTERÉS	RELACIÓN CON OTROS ACTORES
Académicas	bajo financiamiento público o privado.	naturaleza, cuentan con la posibilidad de generar redes de colaboración y gestión amplias, que incluyen postular a proyectos de instituciones nacionales como CORFO, que permiten la innovación y desarrollo de tecnologías. Son agentes relevantes, desde esa perspectiva, en un territorio fronterizo como este.			internacionales. Desde esta perspectiva, como se señaló, CORFO es un buen agente colaborador de estas instancias. Entre las instituciones académicas se cuentan: Universidad Arturo Prat (CIDERH) y Universidad de Tarapacá.

Fuente: elaboración propia acorde a Proceso de PAC, 2021.

### **Relaciones interés / influencia**

Dentro de las herramientas que permiten establecer la posición de diversos actores frente a un tema específico, encontramos aquella que lo hace a partir de parámetros de influencia/interés de esos actores. La metodología con respecto al desarrollo de esta herramienta se presenta en Anexo F, punto 3.4.6.

Los actores que se mencionan en la Tabla 2.44 están presentes más allá del hecho de si participaron o no en alguna actividad PAC, lo que, si bien es una variable de importancia, lo es también **la relevancia específica de estos actores en el territorio**. En ese sentido, a algunos de ellos, que no participaron de las instancias de PAC, no es posible catalogarlos como actores de mediana o nula relevancia, en vista de que, por ley, estos actores, como los Gobiernos Provinciales, tienen importancia en la gestión del territorio y todo lo que éste implica, como la gestión del recurso hídrico.

Contextualizando aún más, es necesario establecer que nos encontramos en medio de una pandemia, situación que ha impuesto condiciones que han hecho modificar las prioridades de muchos actores que se vinculan con el recurso hídrico, los que han debido responder a esta emergencia acorde a sus mandatos legales o administrativos, como GORE y Gobernaciones. Esto en ningún caso significa que por no asistir a las reuniones estos actores no tengan relevancia o interés.

La Tabla 2.44 da cuenta, por tanto, de las relaciones de interés/influencia, que es habitual en todos los PEGH:

- El grado de influencia se establece a partir de su nivel de injerencia en temas hídricos, es decir, su grado de **poder** en este tema
- El grado de interés, acorde a CNR (2016) tiene que ver con la necesidad y/o beneficios, respecto de las determinaciones de inversión, en proyectos, estudios o programas, etc.

**Tabla 2.44 Relaciones Interés/Influencia.**

	INFLUENCIA			
	Sin Influencia	Poca Influencia	Mediana Influencia	Poder formal/Mucha influencia
<b>DISPOSICIÓN</b>	<b>Alta Disposición</b>		DIFROL	DGA SISS CONAF DOH CNR INDAP CONADI SEREMI MOP  OUA <sup>7</sup> y APR  Aguas del Altiplano  Quiborax
	<b>Mediana Disposición</b>		Comunidades Indígenas  Asociaciones Ganaderas y Agrícolas regionales  Juntas de vecinos de Putre  Consejo Nacional Indígena  Instituciones Académicas	Gobiernos Provinciales GORE
	<b>Escasa Disposición</b>			
	<b>Nula disposición</b>			
	<b>Oposición</b>			

Fuente: Matriz CNR, 2016 y elaboración propia, PEGH Lluta, 2021

Respecto a un análisis detallado en este mapeo de actores y sus vínculos de interés e influencia, es posible analizar vínculos y actores a partir de una mirada de índole 'administrativa', dada por la configuración de "grupos de interés" a partir de los tipos de actores establecidos para esta cuenca, lo que probablemente sería una perspectiva más adecuada para poder **comprender** la forma en que estos distintos tipos de actores se mueven en esta cuenca específica. Esto permite que, por ejemplo, se pueda establecer un vínculo con cierto grupo de actores de interés de forma estratégica y proactiva, lo

<sup>7</sup> Incluye a las Juntas de Vigilancia, Comunidades de aguas y Asociaciones de Canalistas.

que permitirá la gobernanza de este Plan. De este modo, sería posible establecer lo siguiente:

**Primer nivel: Alta disposición e influencia**

El grupo de organizaciones públicas de la tabla precedente, que tienen alta disposición e influencia en la temática hídrica: DGA, SISS, CONAF, DOH, CNR, INDAP, CONADI, SEREMI MOP, podrían constituir un grupo de interés más sólido, ya que tanto sus funciones, establecidas por Ley, son similares y tienden hacia la generación de sinergias entre el mundo político, técnico y comunitario de la cuenca, por lo que éstos podrían constituir una instancia embrionaria, que ya en algún momento estuvo conformada en lo que se conoció como la Mesa del Agua de la región, la que por ahora está sin operar. En ese sentido, este 'grupo de interés' se relaciona con todos los tipos de actores de la cuenca, sin generar distancia o conflictos expresivos que no puedan ser abordados, pensando en la futura gobernanza de la Cuenca para la implementación del Plan.

Si bien son diferentes tipos de organizaciones, las OUA<sup>8</sup> y APR<sup>9</sup>, aparecen con alta disposición y alta influencia, por lo que podrían conformar otro grupo de interés en vista de que al menos las OUA, son propietarias de derechos de agua en la cuenca, y los APR tienen control del recurso potable de sus distintas localidades. Esta podría conformar una instancia embrionaria, **si se lograra nivelar las capacidades de gestión de estas organizaciones**. Además, mantienen vínculos con el grupo de interés de organizaciones públicas mencionadas en el párrafo anterior.

Las empresas privadas de la cuenca, conformadas por Aguas del Altiplano y Quiborax, también aparecen con alta influencia y disposición, ya que poseen poder al ser dueñas de derechos de agua de la cuenca. Estos actores son 'grupos de interés', cada uno por su cuenta, sin conformar 'sociedad' respecto a la gestión del recurso hídrico. Tanto la sanitaria como la minera no mantienen vínculos de confianza y colaboración con los demás actores, especialmente con el grupo de interés de OUA y APR de la cuenca, con quienes establecen relaciones más bien conflictivas, lo que aparece como una brecha para este PEGH.

**Segundo nivel: Alta disposición, mediana influencia**

En Alta disposición, pero con mediana influencia aparece DIFROL. Tiene mediana influencia en vista de que no tiene poder en temas hídricos de manera formal, sus temas se ven vinculados a los recursos, pero desde una perspectiva jurídica. Desde esa perspectiva se vincula con otros organismos del Estado, que permiten que cumpla su función legal, pero en sí misma, es una institución que no cuenta con gran influencia en

---

<sup>8</sup> En la cuenca de río Lluta se identifica solo una junta de vigilancia (Junta de Vigilancia del río Lluta y sus afluentes) y 64 comunidades de aguas superficiales, cuyo detalle se incluye en Anexo J.

<sup>9</sup> En la cuenca de río Lluta se identifican 5 comités de APR (Valle de Lluta, Villa Frontera, Molinos Chapisca y Sora, Putre y Socoroma), lo que se detalla en Tabla 3.18.

este tema. Aún no es posible establecer si este organismo pudiera ser 'instancia embrionaria', aunque pareciera ser que no cumple los requisitos básicos para esto, es decir: no convoca a la comunidad y sólo mantiene vínculos específicos, por proyectos, con las demás instancias públicas. Desde esa perspectiva, no conformaría un 'grupo de interés', acorde a lo establecido anteriormente.

### ***Tercer nivel: Mediana disposición y mucha influencia***

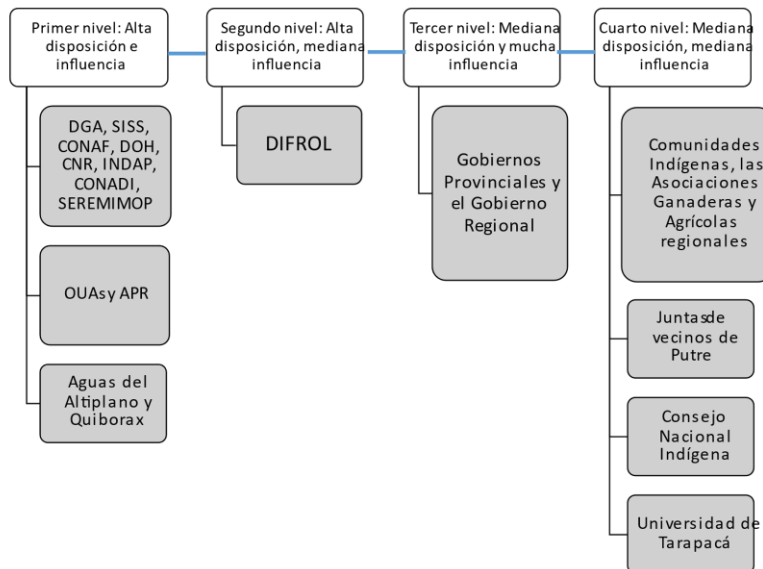
Como fue señalado, la influencia está dada por el poder formal que los actores tienen para incidir en diversos temas, entre los que se cuentan los temas hídricos. Los Gobiernos Provinciales y el Gobierno Regional, en sus distintos niveles territoriales de influencia, pueden configurar otro 'grupo de interés' específico, que puede plantear una posible 'instancia embrionaria' de gestión de recursos hídricos junto al primer grupo de Servicios Públicos mencionados. La mediana disposición de estos actores ante el proceso de PAC de este PEGH se debe, muy probablemente, al contexto de pandemia, más que a desinterés por la temática. Este grupo de interés puede ejercer una fuerte gestión si se incorpora al grupo de interés de servicios públicos, mencionados en el primer nivel de análisis.

### ***Cuarto nivel: Mediana disposición, mediana influencia***

En este nivel se encuentran las Comunidades Indígenas, las Asociaciones Ganaderas y Agrícolas regionales, Juntas de vecinos de Putre, Consejo Nacional Indígena, Instituciones Académicas. De estos actores, que podrían conformar un grupo de interés mixto, entre actores comunitarios y productivos, hay demasiada heterogeneidad como para poder pensarlos aún como un grupo que pudiera ejercer mayor influencia en la gestión de la cuenca, lo que se observa como una brecha de coordinación, que implica una mayor capacitación organizacional para estos grupos. Es evidente que la falta de derechos de agua, que están principalmente en manos de privados, hace perder la posibilidad de influir en la gestión de los recursos. Inclusive, la influencia que pueden tener las instituciones académicas es muy relativa, ya que si bien éstas se relacionan con todos los actores del territorio, no logran generar transformaciones estructurales en términos del uso y gestión del recurso hídrico en la cuenca, que pueda ser más horizontal y beneficie a todos los actores de la misma. Por su parte, el Consejo Nacional Indígena, que se vincula directamente con CONADI, ubicado entre los servicios públicos del primer nivel, de actores con mucha disposición e influencia, se queda corto en su acción, por limitaciones de acceso a información y coordinación de sus representantes, lo que se constituye como una brecha en este PEGH.

De este modo, la conformación de los actores como 'grupos de interés' o stakeholders, de esta cuenca, pensados como agentes que permiten la buena administración de este recurso, quedaría como se muestra en la Figura 2.55.

## Grupos de Interés o Stakeholders PEGH Cuenca de Lluta



Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.55 Grupos de interés o Stakeholders PEGH de la cuenca del río Lluta.**

Ahora bien, respecto a un análisis más bien descriptivo, casi todos los actores de la cuenca de Lluta se ubican en los espacios de media y alta disposición para trabajar los temas hídricos. Ahora bien, un tema relevante, desde las comunidades indígenas, las Juntas de Vecinos y miembros del Consejo Nacional Indígena, del sector de Putre, cuyos socios son parte de las comunidades de agua del territorio, es la necesidad de haber contado con una mayor accesibilidad tecnológica al proceso de PAC, en vista de que éste se implementó en un 100% de forma telemática, y en un contexto de cuarentenas sucesivas, que impidió implementar ideas como reunir a las comunidades del sector alto de la cuenca (Putre) en la Gobernación de Parinacota, o en las oficinas de MOP en la ciudad de Arica, ambos espacios que contaban con los medios para poder habernos reunido al menos de forma telemática con la comunidad de esta cuenca, en un intento de trabajar en un formato mixto, lo que lamentablemente no ocurrió.

Ahora bien, un tema diferente lo constituyen los Gobiernos Regionales y Gobernaciones Provinciales, los que cuentan con mucha influencia a partir de su poder formal en los distintos territorios en los que operan, sin embargo, también debido a la situación que impuso la pandemia por COVID19 estas organizaciones debieron ajustar sus prioridades en función de esta situación de emergencia, lo que hizo que no pudieran ser parte activa del proceso, pero que sin duda poseen una gran relevancia en temas hídricos dada por sus propias atribuciones.

Los actores clave en la gobernanza de la cuenca son sin duda las organizaciones públicas vinculadas directamente a la gestión del recurso hídrico y las OUA y APR del territorio, las que, a pesar de presentar diversos grados de organización y desarrollo, son entidades de relevancia que se enlazan con la acción de las instituciones públicas. De este modo,

la tabla previa establece que no es posible una buena gestión del recurso sin el fomento de las relaciones entre organismos públicos, así como organizaciones Usuarias de Agua y APR en este tema.

En este sentido, el trabajo de PAC también detectó cierta desconfianza de los actores tanto hacia los Servicios públicos, así como, a la falta de información o a lo difícil que les resulta acceder a ésta. Se debe destacar que aun evidenciándose esta desconfianza se verifica un interés por participar y conocer las materias de agua en la cuenca.

Entre las organizaciones usuarias de aguas, la más fuerte, representativa y con mayor número de socios es la Junta de Vigilancia del Río Lluta y sus afluentes, quién fue un actor relevante en el proceso de detectar brechas, limitaciones y posibilidades en este tema en la cuenca, a pesar de establecer su rechazo tanto a la minería como a la sanitaria que opera en el sector. Esta organización planteó la necesidad de establecer un vínculo con DIFROL, habida cuenta de los recursos hídricos compartidos en cuencas como Lluta, que es transfronteriza. Esta institución estuvo en uno de los talleres del proceso PAC.

Por otra parte, las Instituciones Académicas presentan una vinculación con los temas hídricos desde la investigación e innovación tecnológica, como lo es la Universidad de Tarapacá, quiénes han avanzado en medios para mejorar la producción agrícola de la zona y que se ve reflejado en distintas publicaciones (Figueroa et al., 2006; Copaja y Muñoz, 2018; Torres & Acevedo, 2008; Bastías et al., 2013; Bastías et al., 2015; Bastías et al., 2011; Trevizan & Challapa, 2020), sin poder ejercer un poder formal, en vista de que sus objetivos son distintos a los de los actores con poder en temas hídricos. Las demás instituciones Académicas contactadas en esta cuenca, no respondieron las convocatorias.

## **2.6.2 Síntesis de Reuniones PAC Cuenca del río Lluta**

En este punto se describirán algunos de los problemas que los diversos actores identificaron en el proceso de PAC. La estructura que se sigue es la misma que la de otros PEGH, vinculando los problemas manifestados por los distintos actores con objetivos que serán parte del Plan de Gestión de la Cuenca, los que serán expresados en una serie de tablas que permitan visibilizar el origen de cada uno de los objetivos que se proponen.

El detalle de las actividades de PAC, en que se expresa la metodología de este trabajo, se entrega en Anexo F, punto 3.4, en tanto, los problemas manifestados por los diversos actores se exponen en la sección 4.1 del Anexo I, anexo que describe el detalle del proceso de PAC.

Los ejes de trabajo en el Plan Estratégico de Gestión Hídrica, respecto a los que se organizan los problemas expresados en el proceso PAC, son los siguientes:

- EJE 1 USO ESTRATÉGICO DEL RECURSO HÍDRICO: BRECHAS ENTRE OFERTA Y DEMANDA, RIESGOS HÍDRICOS
- EJE 2 INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO
- EJE 3 GESTIÓN Y GOBERNANZA DEL AGUA
- EJE 4 CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DEL RECURSO Y DEL ECOSISTEMA HÍDRICO

## **EJE 1. USO ESTRATÉGICO DEL RECURSO HÍDRICO: BRECHAS ENTRE OFERTA Y DEMANDA, RIESGOS HÍDRICOS**

En la Tabla 2.45 se presentan los problemas identificados en torno al Eje 1. Uso estratégico del recurso hídrico.

**Tabla 2.45 Problemas manifestados por actores convocados a reuniones PAC, en torno a los objetivos 1.1, 1.3, 1.4 y 1.5 del Plan de Acción.**

<b>Objetivo 1.1</b>		
Reducir las brechas entre oferta y demanda de agua considerando cambio climático, sequía e inundaciones.		
<b>Nº Problema</b>	<b>Problemas</b>	<b>Actores que manifestaron el problema</b>
1	Disminución de nivel de agua en acuíferos por su uso intensivo y creciente en uso sanitario.	Junta de Vigilancia del río Lluta APR Poconchile
2	Poco aprovechamiento de agua en crecidas de verano.	Junta de Vigilancia Río Lluta Mineras y sanitaria
3	Existe poca información pública respecto a las brechas entre oferta y demanda, para todos los actores de la cuenca.	Junta de Vigilancia del río Lluta
<b>Objetivo 1.3</b>		
Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.		
<b>Nº Problema</b>	<b>Problemas</b>	<b>Actores que lo manifestaron</b>
4	Mala calidad del recurso originado en el río Azufre.	J. de Vigilancia INDAP Aguas del Altiplano Quiborax
5	Escasa cantidad de agua disponible para APR en toda la cuenca, lo que preocupa para el futuro abastecimiento.	J. de Vigilancia APR
<b>Objetivo 1.4.</b>		
Conservar y/o mejorar el estado de la infraestructura hidráulica actual.		
<b>Nº Problema</b>	<b>Problemas</b>	<b>Actores que lo manifestaron</b>
6	Infraestructura de riego deficitaria o en mal estado en todos los sectores de la cuenca (riberas y cauces en malas condiciones).	Junta de Vigilancia río Lluta APR DOH INDAP
7	No existe transferencia tecnológica para mejorar el estado de la infraestructura hidráulica.	Junta de Vigilancia del Río Lluta
<b>Objetivo 1.5.</b>		
Gestión de riesgos hidrometeorológicos		
<b>Nº Problema</b>	<b>Problemas</b>	<b>Actores que lo manifestaron</b>
8	No hay suficientes lluvias en la cuenca que permitan cubrir las necesidades de este recurso para la agricultura y uso humano.	Junta de Vigilancia Río Lluta INDAP DOH

Fuente: elaboración propia.

Es posible observar que la disminución del recurso hídrico es un tema preocupante ante eventos como las sequías y el mal manejo del recurso en época de crecidas. Esta situación se complejiza debido a la mala calidad de la infraestructura de canales y riberas.

**EJE 2. INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO**

En la Tabla 2.46 se presentan los problemas identificados en torno al Eje 2. Información y monitoreo del recurso hídrico.

**Tabla 2.46 Problemas manifestados por actores convocados a reuniones PAC, en torno al objetivo 2.1 y 2.2 del Plan de Acción**

<b>Objetivo 2.1.</b> Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares).		
<b>Nº Problema</b>	<b>Problemas</b>	<b>Actores que lo manifestaron</b>
9	Falta de fiscalización en las extracciones de agua transfronteriza, que perjudican el cauce de la Cuenca	Junta de Vigilancia Río Lluta DIFROL
10	Falta de fiscalización de extracciones del recurso en la cuenca	APR Junta de Vigilancia del río Lluta Comunidades Indígenas Juntas de Vecinos de Putre
<b>Objetivo 2.2.</b> Gestión de Información		
<b>Nº Problema</b>	<b>Problemas</b>	<b>Actores que lo manifestaron</b>
11	Actores de la cuenca presentan distintas capacidades de gestión, información y capacidades técnicas respecto al manejo del recurso hídrico, la que requiere ser abordada a partir de procesos continuos de capacitación.	Junta de Vigilancia del río Lluta Aguas del Altiplano Comunidades Indígenas
12	No hay buena aceptación de algunas medidas de gestión del recurso hídrico, como el uso y reutilización de las aguas servidas	APR Junta de Vigilancia del río Lluta INDAP SISS Comunidades Indígenas
13	Hace falta más información respecto a la forma en que opera el recurso hídrico en la cuenca de forma integrada.	DGA Junta de Vigilancia del río Lluta
14	Hace falta generar capacidades en la administración del Embalse Chironta, las que declaran no poseer en este momento.	Junta de Vigilancia del río Lluta
15	Hay desconfianza de las comunidades hacia las instituciones públicas y/o técnicas que entregan información que no coincide con las creencias que se tienen.	INDAP DOH

Fuente: elaboración propia

Uno de los problemas más recurrentes es la necesidad de mejorar la información que las comunidades reciben por parte de instancias técnicas; otra temática relevante es el mejoramiento de los sistemas de fiscalización del recurso hídrico. Sin embargo, las capacidades que deben instalarse en la comunidad para manejar y gestionar el recurso hídrico es el centro de este eje.

Asimismo, algunas de las alternativas de solución no siempre son vistas como efectivas por los actores de la cuenca, como el uso de las aguas servidas o el reúso del recurso, probablemente por un tema más bien sociocultural, que debe ser abordado.

**EJE 3. GESTIÓN Y GOBERNANZA DEL AGUA**

En la Tabla 2.47 se presentan los problemas identificados en torno al Eje 3. Gestión y gobernanza del agua.

**Tabla 2.47 Problemas manifestados por actores convocados a reuniones PAC, en torno al objetivo 3.1 del Plan de Acción**

<b>Objetivo 3.1.</b> Promover y revitalizar la alianza público - privada en materia hídrica.		
<b>Nº Problema</b>	<b>Problemas</b>	<b>Actores que lo manifestaron</b>
16	No hay coordinación entre los distintos actores del territorio que trabajan el tema hídrico (tanto públicos como privados)	Junta de Vigilancia río Lluta APR MINERAS Y SANITARIA

Fuente: elaboración propia.

La necesidad de generar una buena coordinación entre los diversos actores y sectores a los que representan permitirá una buena gestión de un Plan Hídrico con posibilidad de generar gobernanza en la cuenca. Para esto se requiere una acción coordinada e integral de los actores y sus diversos intereses en la cuenca.

**EJE 4. CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DEL RECURSO Y DEL ECOSISTEMA HÍDRICO**

En la Tabla 2.48 se presentan los problemas identificados en torno al Eje 4. Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico.

**Tabla 2.48 Problemas manifestados por actores convocados a reuniones PAC, en torno al objetivo 4.1 y 4.2 del Plan de Acción**

<b>Objetivo 4.1.</b> Conservar y/o mejorar el estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas.		
<b>Nº Problema</b>	<b>Problemas</b>	<b>Actores que lo manifestaron</b>
17	Hay mal manejo del recurso por parte de Minerías y Sanitaria, lo que empeora la calidad del agua de la cuenca	Junta de Vigilancia río Lluta Comunidades Indígenas APR
<b>Objetivo 4.2.</b> Proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.		
<b>Nº Problema</b>	<b>Problemas</b>	<b>Actores que lo manifestaron</b>
18	Hace falta cuidar la calidad del recurso que llega a la parte baja de la cuenca	Junta de Vigilancia río Lluta

Fuente: elaboración propia.

Se observa la necesidad de generar nueva información afincada en la ciencia, para entregar soluciones a lo que se entiende como una preocupante y sistemática disminución de los caudales en la cuenca.

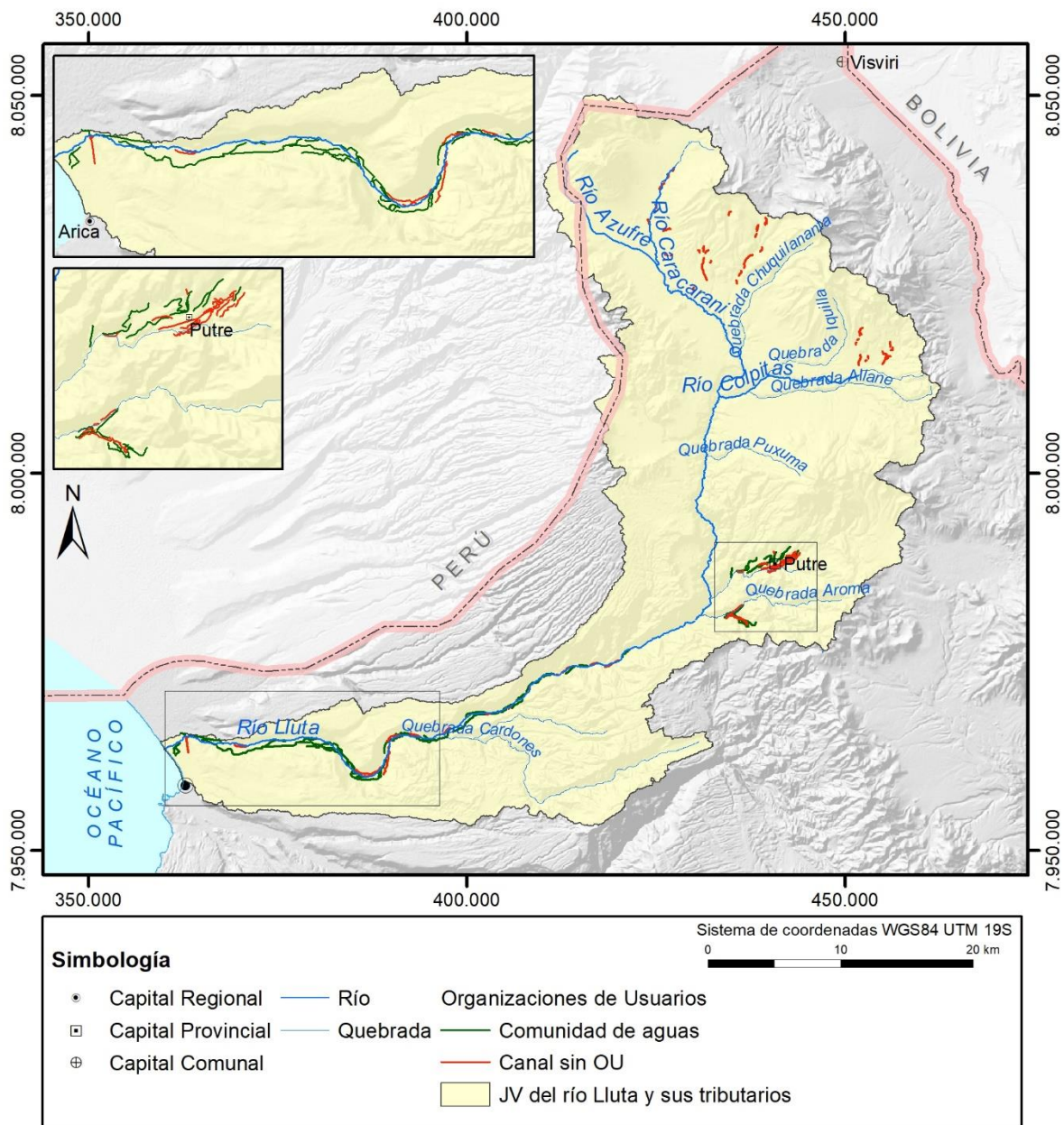
### 2.6.3 Brechas de coordinación

En este punto se levanta alguna breve caracterización de las OUA de la cuenca, que incluyen las comunidades de agua, que permitan pensar en la posibilidad de gobernanza de la misma. Se da cuenta, asimismo, de la regulación de la cuenca, enfocada en las relaciones entre actores relevantes y las instancias embrionarias de coordinación en la cuenca de Lluta en temas hídricos, así como una síntesis de las experiencias internacionales. Hacia el final del acápite se sintetizan las brechas de coordinación más relevantes observadas.

#### **Organizaciones de usuarios de agua (OUA)**

Para identificar el número y disposición de las OUA se utilizó el Registro Público de Organizaciones de Usuarios (RPOU, 2020) junto al estudio de la DGA (2018b). En dicho estudio se generó una base de datos a partir del Registro Público de OUA, catastros y la consulta DGA realizada en 2016.

En cuanto a las OUA, la información más reciente disponible corresponde a la entregada por el estudio SIT N°422 "Diagnóstico nacional de Organizaciones de usuarios de agua" elaborado por la Universidad de Chile (DGA, 2018b). En principio, se identifica 1 Junta de Vigilancia en la cuenca del Lluta y 61 comunidades de aguas superficiales en la cuenca del Lluta. Dicho estudio también recoge información de la infraestructura hídrica asociada a cada OUA además de sus áreas de jurisdicción. La jurisdicción de la Junta presente en la cuenca se presenta en Figura 2.56.



Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2018b).

**Figura 2.56 Área de jurisdicción de la Junta de Vigilancia del río Lluta y sus tributarios, y ubicación de las OUA de la cuenca.**

Según los estatutos de esta JV, su área de jurisdicción comprende “el río Lluta y sus tributarios desde su nacimiento en la Cordillera de los Andes, que comprende su hoya hidrográfica hasta la desembocadura en el océano Pacífico”, lo que concuerda con el área de jurisdicción registrada en la Resolución DGA, donde se indica que: “Comprende la hoya hidrográfica del Río Lluta, desde su nacimiento en la Cordillera de Los Andes hasta su desembocadura en el Océano Pacífico” (DGA, 2018b). En la Tabla 2.49 se presenta una síntesis de información para la misma Junta de Vigilancia.

**Tabla 2.49 Información de registro de Junta de Vigilancia identificada en cuenca del río Lluta y derechos de agua**

Cuenca	N° JV	Detalle/Id	Estado	N° titulares DAA	N° de usuarios	N° usuarios susceptibles regularizar
Lluta	1	Junta de Vigilancia del Río Lluta y sus tributarios / JVLL1	Registrada	485	1.364	879

Fuente: elaboración propia a partir de DGA (2018b), Cuadro N°15.

Cabe destacar que el mismo estudio estima un total de 879 usuarios susceptibles de regularizar sus derechos de agua. Así mismo, un total de 1136 l/s según la equivalencia adoptada para las acciones.

**Tabla 2.50 Detalle de usuarios susceptibles de regularizar en JV de cuenca del río Lluta**

Cuenca	Id	Acciones	Q estimado	Q Superficial Permanente cont/alternado registrado (l/s)	Caudal susceptible regularizar (l/s)	Equivalencia
Lluta	JVLL1	2.904,55	2.905 l/s	1.769	1.136 l/s	1 acc. =1 l/s

Fuente: elaboración propia a partir de DGA (2018b), Cuadro N°17.

Así mismo, en esta JV existirían 660 derechos de agua susceptibles de perfeccionar (Tabla 2.51), por no indicar alguna de las características esenciales de cada DAA en el RPDAAs (Registro público de derechos de aprovechamiento de aguas).

**Tabla 2.51 Detalle de DAA sin coordenadas y susceptibles de perfeccionar en cuenca del río Lluta**

Cuenca	Id	N° de DAA susceptibles de perfeccionar
Lluta	JVLL1	660

Fuente: elaboración propia a partir de DGA (2018b), Cuadro N°21, N°62.

Por otro lado, se identifican 64 comunidades de aguas superficiales presentes en la cuenca, las que se presentan en la sección 6.1.2 del Anexo J (DGA (2018b), Base de datos Access). El estudio DGA (2018b) también levantó un breve diagnóstico de la situación, problemas y requerimientos de las OUA identificadas.

Para el caso de las comunidades de aguas presentes en la cuenca del río Lluta, se plantea que en varios casos están inactivas, por lo que son las organizaciones tradicionales, como Juntas de Vecinos y algunas Comunidades Indígenas, las que asumen de hecho las funciones de una Organización Usuaria de Aguas, con repartidor de aguas y organización del riego. Así mismo, se identifica en el proceso PAC, un desinterés (en general) frente a actividades de fortalecimiento y capacitación organizacional. Así mismo, se aprecian Comunidades de Agua sin directorio vigente y sin cumplir mandatos otorgados por el Código de Aguas. En la parte alta de la cuenca el agua se utiliza para regar bofedales (alimento de ganado), sin turnos ni organización de riego.

### **Otros actores relevantes: instancias embrionarias de gobernanza**

Dado el carácter de Plan de gestión de recursos hídricos del presente estudio, resulta relevante identificar los avances en materias de gobernanza de agua que pueden manifestarse a través de instancias formales o semiformales para desempeñar un rol importante en materia de gestión de recursos hídricos tanto de carácter vinculante como indicativo. Estas instancias se han denominado "instancias embrionarias" de gestión.

En el caso de la cuenca del río Lluta se identifica sólo una instancia embrionaria que corresponde a la "Mesa de Recursos Hídricos de la Región de Arica y Parinacota". Dicha Mesa, según DGA (2018b), se establece desde 2016, de modo de contar con una instancia que permita dar a conocer a los diferentes servicios públicos la información con la que actualmente se cuenta y entender cómo se desarrolla la matriz hídrica de la región. El principal objetivo planteado fue optimizar el recurso por medio de la coordinación entre los diferentes servicios públicos, donde los principales impulsores de la iniciativa han sido el MOP, DGA, DOH. Entre los principales problemas y desafíos identificados en el 2016 se cuentan el contar con una secretaría que lleve a cabo los compromisos que se adquieran y que gestione la instancia, además de no existir mecanismos de financiamiento permanentes para el desarrollo de sus actividades.

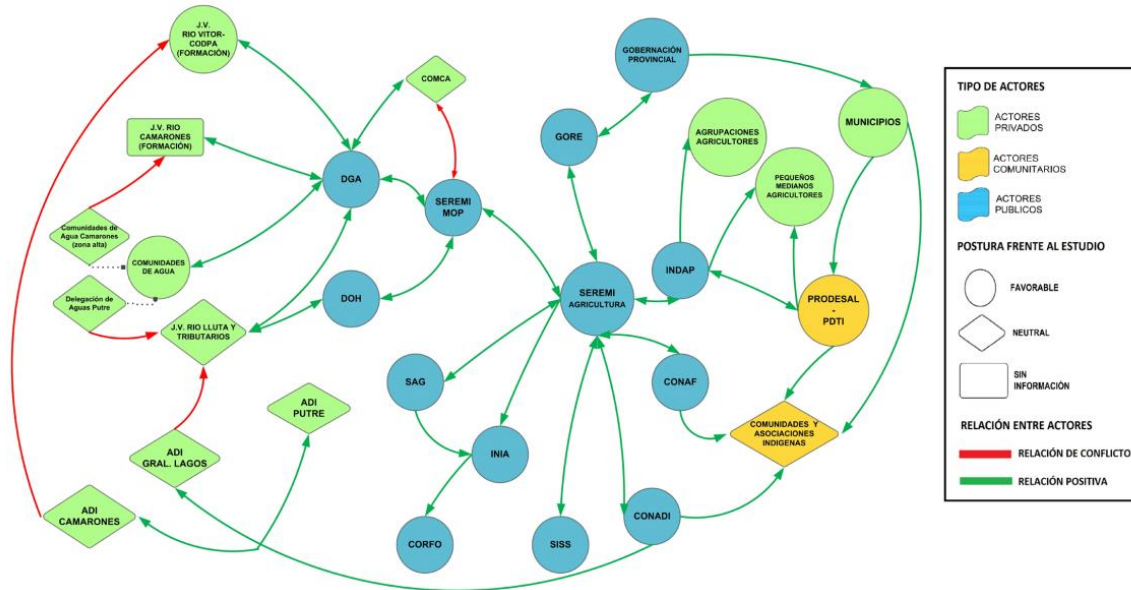
El trabajo de CNR (2016) clasifica los actores relevantes de la cuenca según 4 tipos (Tabla 2.52). Hay que considerar que dicho trabajo se centraba en un "plan de riego" a nivel regional:

**Tabla 2.52 Actores relevantes identificados en estudio Plan de Riego**

N°	Tipo de actor	Listado preliminar
1	Sector Público	Gore, Gobernación provincial, SEREMIs (MOP, MINAGRI, MIDESO, Bienes Nacionales), CNR, DGA, DOH, INDAP, SAG, CONADI, CONAF, SISS, ONEMI, INIA, CORFO, Universidad de Tarapacá, CIDERH
2	Actores políticos	Municipios, CORE, Consejo Nacional Aymara, Consejeros de Áreas de desarrollo indígena
3	Actores privados	Junta de Vigilancia del río Lluta y sus tributarios, representantes de canales, Comunidades de aguas, Agrupación de Pequeños Agricultores de Arica y Parinacota, Agrícola Comercial Valle Nuevo Ltda., Agrícola La Pampa Spa, Gremio Agricultores Río Lluta, Asociación de Agricultores de Arica, Regantes
4	Actores Comunitarios	Comunidades indígenas (Alcérreca, Copapujo de Tacora), entre otras

Fuente: CNR (2016).

A modo referencial, el estudio CNR (2016) desarrolló un esquema (Figura 2.57), identificando y mostrando las relaciones entre los principales actores de la cuenca.



Fuente: CNR(2016).

**Figura 2.57 Mapa de relaciones de actores relevantes a nivel regional (Arica y Parinacota).**

Finalmente, en el Apéndice I del Anexo I, se entrega la base de datos de actores convocados.

***Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas y Comunidades de Agua***

a. Junta de Vigilancia Río Lluta

Esta Junta de Vigilancia, abarca 64 comunidades de aguas, las que configuran una organización bien implementada y que cuenta con redes con todas las instituciones públicas de la zona. La información en detalle de éstas se incluye en el Anexo J, sección 7.1.

Acorde al proceso de PAC, se evidencia una serie de conflictos entre esta Junta de Vigilancia con Aguas del Altiplano y mineras, además de una importante preocupación respecto a las aguas del río Azufre. Esta última situación también fue discutida en reunión entre DGA y DIFROL, y luego, en un taller con presencia de ambas instituciones.

**Estado actual de coordinación entre los actores**

Se entrega una aproximación de la situación actual de coordinación entre los distintos actores que se vinculan con el recurso hídrico, pensando en la gobernanza de la cuenca para el Plan Estratégico de Gestión.

***Sociograma de redes de actores relevantes***

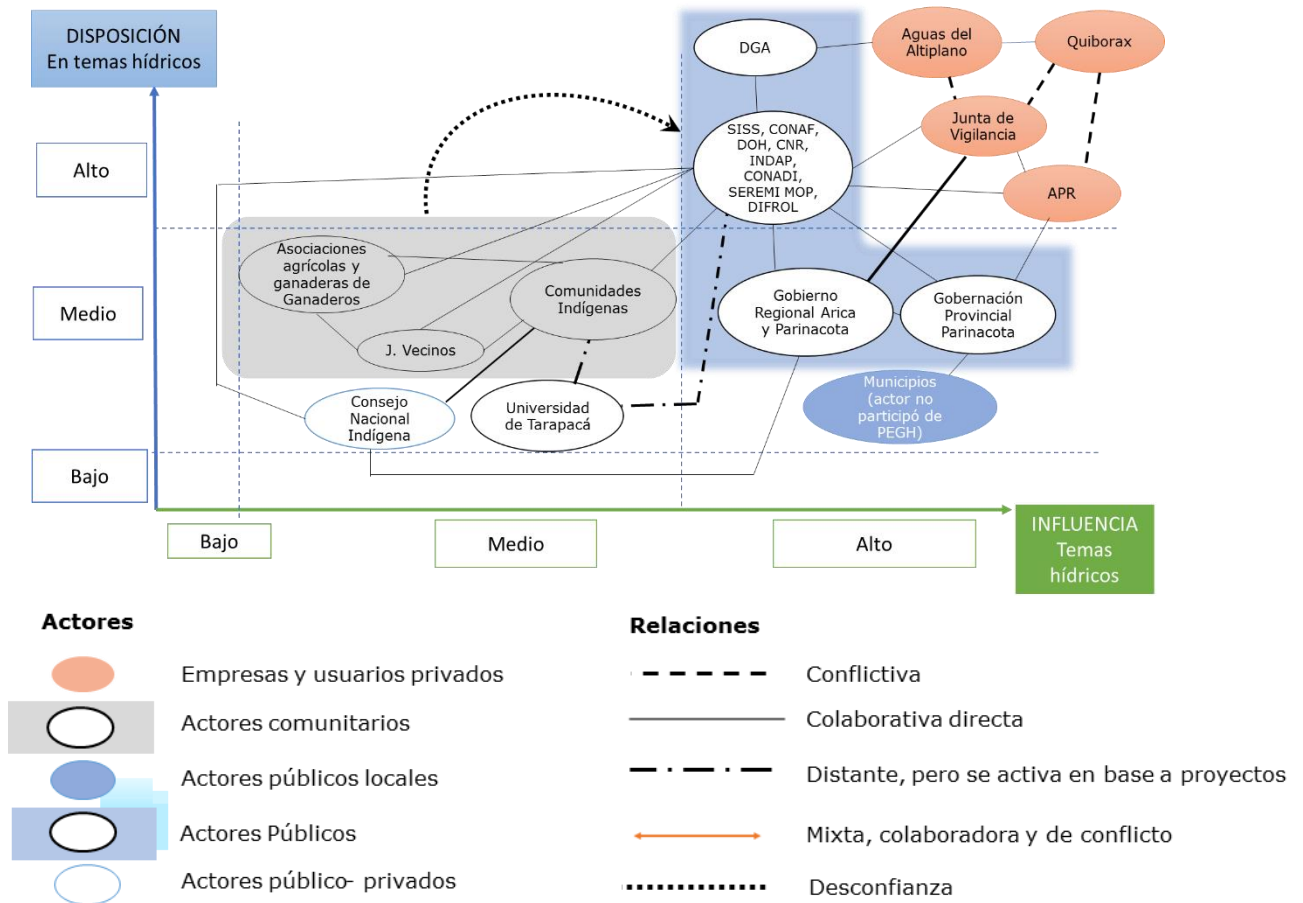
El sociograma es un esquema para visualizar las relaciones entre los distintos actores presentes en la cuenca.

Si bien es cierto, la situación de pandemia generó una modificación de la metodología PAC, expresada en la sección 3.4 del Anexo F, que impidió una relación directa con los actores relevantes de la cuenca, de igual forma se propone un esquema que resume los vínculos de forma general en este territorio.

Este sociograma (Figura 2.58) muestra que la DGA debe ser la instancia que aglutine los esfuerzos por generar gobernanza en la cuenca de Lluta. De este modo, es posible afrontar los conflictos que se observan en la cuenca, principalmente desde los actores comunitarios (en negrilla) con los actores privados (en amarillo), en vista de que los primeros consideran que los segundos son responsables de la escasez y mala calidad del recurso con el que cuentan hoy. Además, no es menor la desconfianza de la comunidad hacia los servicios públicos.

En el sociograma se observa que el rol de CONADI es central a la hora de coordinar acciones con las organizaciones de todo tipo en la cuenca, en vista de la densidad de relaciones desde esta institución pública hacia otros servicios públicos y hacia organizaciones como organizaciones usuarias de agua, juntas de vecinos y comunidades indígenas. El eje indígena es central a la hora de trabajar en esta cuenca, por lo que es necesario coordinar acciones con CONADI para una gestión que considere esta perspectiva, lo que permitirá generar lazos de colaboración entre los distintos actores.

Las relaciones conflictivas están centradas en las empresas privadas de la cuenca, que para los actores privados, OUA y APR, son las responsables de la falta de recurso hídrico en la zona, y por lo tanto, las que de algún modo debiesen 'reparar' lo que han dañado. De este modo, las empresas privadas que actúan en la cuenca son 'culpables' de la escasez del recurso hídrico en la cuenca, aún cuando los datos de estudios previos puedan indicar otra cosa; en el imaginario de los habitantes de esta cuenca, los responsables de la escasez hídrica son Quiborax y Aguas del Altiplano.



Fuente: elaboración propia, a partir de formato de Mapeo de actores clave<sup>10</sup>.

**Figura 2.58 Sociograma de redes de actores.**

### **Síntesis de brechas de coordinación**

En este punto se entrega una pequeña síntesis de las principales brechas de coordinación observadas en la cuenca, a partir de lo señalado anteriormente y lo observado en el proceso de PAC (detallado en Anexo I, sección 4.1).

- Hay diferencias en las capacidades técnicas y organizacionales entre los distintos actores de la cuenca, lo cual desencadena distintos problemas ligados a la gestión y coordinación en materias hídricas. Por tanto, resulta necesario nivelar las capacidades locales para mejorar la gestión del recurso, a partir de procesos continuos de capacitación.
- Así mismo, existe un grupo de comunidades de aguas que no están vigentes actualmente, lo que también repercute en materias de gestión y coordinación.

<sup>10</sup> Mapeo de actores clave de San Ildefonso [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapeo-de-actores-clave-de-san-Ildefonso\\_fig1\\_321638281](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapeo-de-actores-clave-de-san-Ildefonso_fig1_321638281) (visitado por última vez el 30/12/2021)

- Existe solo una Junta de Vigilancia en la cuenca, la que está desconectada y no representa a los usuarios de la misma cuenca que residen en la parte alta de la misma, específicamente con Putre.
- APR y OUA ven complejizadas sus relaciones y coordinaciones con los distintos organismos públicos y privados con los que deben vincularse en vista de distintas capacidades de gestión.
- APR muestran vínculos con, por ejemplo, la DOH, que son poco efectivos y muchas veces, conflictivos.
- Algunos actores manifiestan que no hay coordinación entre los distintos actores del territorio que trabajan el tema hídrico (tanto públicos como privados).

#### **2.6.4 Brechas de información**

En este ítem, se detallan las brechas de información existentes, que impiden desarrollar un diagnóstico completo de algunos aspectos de la situación hídrica de la cuenca de Lluta.

##### **Estado de información sobre OUA**

Respecto al estado de la información vinculada con las OUA, y basándose principalmente en talleres y entrevistas bilaterales con actores relevantes (detallados en la sección 3.4.7 del Anexo F), se detectaron las siguientes brechas de información:

- No se cuenta con información detallada de las organizaciones de la primera parte de la cuenca (parte alta), que en rigor cuentan con una formalización como comunidades de agua, pero que no son lo suficientemente conocidas, por ser pequeñas y/o ser parte de una comunidad sucesorial única (Juan de Dios Aranda), en que pocos miembros de la comunidad tienen derechos de agua en la parte alta de la cuenca.
- Además, no se cuenta con un diagnóstico actualizado sobre el estado y funcionamiento de las comunidades de aguas de la cuenca y así identificar aquellas que efectivamente se encuentren operativas y/o vigentes.
- Se requiere generar instancias de levantamiento de información de las comunidades de agua más pequeñas de la cuenca, que no son parte de ninguna organización mayor y que por lo mismo, se encuentran desligadas de este proceso y se desconocen sus necesidades específicas.
- No hay seguimiento de las actividades, ni de las efectivas capacidades de gestión de todas las OUA de la cuenca. Se requiere un diagnóstico más preciso, al menos por tipo y sector, de estas organizaciones formalizadas o no.

##### **Síntesis de brechas de información desde la PAC**

- Existe una brecha de información respecto a la calidad de las aguas y respecto al cumplimiento de la norma de calidad de agua para consumo humano y para la producción agrícola.

- La información pública disponible sobre las transacciones de DAA es insuficiente y los registros para esto tienen diversos objetivos y formas de registrar dicha información.
- Otra situación influyente en las brechas de información es la desconfianza que muchos actores presentan ante la acción de la DGA y demás servicios públicos, que suponemos se debe a la falta de información adecuada. Por tanto esta problemática se relaciona con el desconocimiento de la información manejada por la DGA y procesos de fiscalización y denuncia de DGA.
- No se cuenta con capacidades homogéneas en toda la cuenca respecto al manejo de información por parte de las OUA, así como su tipo y sus fuentes. Lo anterior, podría repercutir en una mala interpretación de la información.
- No se cuenta con un diagnóstico actualizado sobre el estado y funcionamiento de las comunidades de aguas de la cuenca y así identificar aquellas que efectivamente se encuentren operativas y/o vigentes.
- Se requiere un sistema de información integrado y validado que permita la toma de decisiones, que pueda ser comprendido y operado por todos los actores de la cuenca, en el mismo nivel de capacidades. Esto es relevante de cara a la administración del Embalse Chironta, lo que preocupa a los miembros de la Junta de Vigilancia del río Lluta. Entre la información a considerar, se cuenta, información Hidrológica (precipitaciones, temperaturas, caudales del río y de las extracciones de los canales, almacenamiento del embalse), información Hidrogeológica (Niveles, extracciones de los pozos), e información de balance hídrico de la cuenca (entradas y salidas), entre otras.
- La situación de pandemia influyó en la falta de información de primera mano de los propios actores, en vista de la dificultad de contacto con varios de éstos, debido a números de teléfonos corporativos no operativos a causa de su trabajo fuera de oficina o que algunos de éstos estaban desactualizados.  
Esta situación impactó, además, en la falta de contacto estrecho con los actores comunitarios de la parte alta de la cuenca, con los que debe realizarse un trabajo posterior, de difusión de este PEGH.

#### 2.6.5 Brechas transversales

Finalmente, es pertinente señalar que también fueron evidenciadas brechas transversales a las de coordinación e información, donde destacan la falta de capacidades y desconfianza entre actores.

Así mismo, existe una percepción negativa hacia un potencial "mal manejo" del recurso por parte de Mineras y Sanitaria, lo que plantean como culpable del deterioro de la calidad del agua de la cuenca.

Cabe destacar que estas brechas transversales no fueron razón para disminuir el interés de los actores en participar en las actividades del PEGH ni en futuras actividades relacionadas con la gestión de recursos hídricos de la cuenca.

### 2.6.6 Tabla resumen de brechas

En la Tabla 2.53 se presenta un resumen de las brechas antes identificadas, según brechas de coordinación, de información y transversales.

**Tabla 2.53 Resumen de tipos de brechas desde el proceso PAC.**

BRECHAS	Com. Agua y JV	OUA más pequeñas o fuera de J.V.	APR	SSPP	Privados	Otros
<b>COORDINACIÓN</b>						
No hay una identificación clara de totalidad comunidades de agua vigentes	x	x				
Falta de integración de usuarios de parte alta a la JV de la cuenca	x	x				
Coordinación y relaciones complejas	x		x			
Coordinación y relaciones complejas			x	x		
Percepción de mala coordinación				x	x	
<b>INFORMACIÓN</b>						
Falta diagnóstico e información actualizada	x	x				
Falta seguimiento de actividades	x	x				
Falta mejorar capacidades de gestión	x	x	x			
No se conoce estado calidad de aguas				x		x
Falta mejora a información de transacciones de D.A.A.				x		
Falta de un sistema de información integrado	x		x	x		
<b>TRANSVERSALES</b>						
Desconfianza hacia SSPP		x	x			x
Capacidades	x	x	x			
Percepción negativa hacia mineras y sanitaria	x	x	x			x

Fuente: elaboración propia.

### 3. DEMANDA FÍSICA Y LEGAL

En el presente capítulo se cuantifica la demanda de agua por los diferentes sectores productivos y otros usos del recurso, tanto actual como su proyección futura, para uso humano, necesidades mínimas ambientales, demandas agrícola, minera, industrial u otras.

A continuación, se presentarán las demandas efectivas en la cuenca del Lluta, lo cual se complementa con un análisis del mercado de derechos de agua asociado. Adicionalmente, cabe señalar que la información y datos que se exponen en este capítulo son utilizados como datos de entrada para la modelación, lo cual se encuentra detallado en el capítulo 5 del Anexo H.

Las demandas actuales de la cuenca del río Lluta han sido descritas en el estudio "Análisis Integral de Soluciones a la Escasez Hídrica, Región De Arica y Parinacota, parte 1, SIT N° 410" realizado por ICASS (DGA, 2016). Estas demandas se encuentran dadas principalmente por la importancia que tienen dentro de la economía y que está dada por las actividades agrícolas, de producción de agua potable, minería y pecuarias (en orden descendente, según volumen de extracción) además de la demanda evaporativa y evapotranspirativa que constituyen algunas masas de agua de agua libre y la vegetación natural, respectivamente. En el estudio señalado anteriormente, las demandas actuales fueron estimadas en base al estudio de demandas realizado por DGA (2007), cuyo resumen se presenta en la Tabla 3.1 a nivel de subcuenca (DGA, 2016).

**Tabla 3.1 Componentes de demandas hídricas en la cuenca del Río Lluta, tomados del estudio de DGA (2016).**

Subcuenca definida en ICASS (2016)	Demanda (l/s)		
	Evapotranspiración	Extracciones	Evaporación desde cuerpos de agua
Río Lluta en Alcérreca	10.788	1.246	35
Río Lluta entre Alcérreca y Panamericana	7.802	1.100	32

Fuente: elaboración propia en base estudio de DGA (2016).

En el caso de las extracciones del estudio DGA (2016) se ha llegado a la definición de series medias mensuales de demandas reales, desglosando las demandas reales por actividad, y cuyo resumen se presenta en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2 Demandas reales en la cuenca del Río Lluta.**

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica consuntiva 2015 (l/s)						
		Agua Potable Urbana	Agua Potable Rural	Agrícola	Pecuaría	Minera	Industrial	Total
0120	Río Lluta Alto	-	3,7	1.285	0,3	-	-	1.289
0121	Río Lluta Bajo	180	5,3	851	5,4	15,1	-	1.057
<b>Total Cuenca</b>								
<b>012</b>	<b>Río Lluta</b>	<b>180</b>	<b>9,1</b>	<b>2.136</b>	<b>5,6</b>	<b>15,1</b>	<b>-</b>	<b>2.346</b>
% de la Demanda		7,7%	0,4%	91,1%	0,2%	0,6%	0%	<b>100%</b>

Fuente: elaboración propia en base estudio de DGA (2016).

De la Tabla anterior se desprende que las demandas por actividad agrícola representan más del 90% del total del consumo del recurso hídrico, con lo que el resto de actividades juegan un rol menor. A su vez, las demandas agrícolas se asocian tanto a las demandas naturales como a diferentes tipos de cultivos y a la presencia de praderas artificiales, según lo especificado.

Por otro lado, el estudio de la DGA "Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile" elaborado por Hídrica-Aquaterra (DGA, 2017c), estimó en todo el territorio nacional, y en particular para la cuenca del río Lluta, la demanda hídrica para distintos usos con base el año 2015 (Tabla 3.3). En dicho estudio, se identifica que el sector que más demanda hídrica posee en la cuenca es el sector agrícola con un 97,7%. En segundo lugar, está el abastecimiento de agua potable rural con un 1,2%. En tercer lugar, están las actividades mineras con un 0,8%. Y, en cuarto lugar, el sector pecuario con un 0,3%. Sin embargo, los porcentajes anteriores difieren del estudio DGA (2016) dado que no consideraron la demanda hídrica de agua potable urbana y subestimaron la demanda agrícola, producto de la escala de trabajo de este estudio, de nivel nacional. Por lo tanto, el estudio regional de DGA (2016) estima en forma más precisa las demandas hídricas de la cuenca (Tabla 3.2).

**Tabla 3.3 Demanda hídrica cuenca del río Lluta.**

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica consuntiva 2015 (l/s)						
		Agua Potable Urbana	Agua Potable Rural	Agrícola	Pecuario	Minería	Industria	TOTAL
0120	Río Lluta Alto	0	1,8	285	0,6	0	0	<b>287</b>
0121	Río Lluta Bajo	0	5,6	304	0,5	5,1	0	<b>315</b>
<b>TOTAL CUENCA</b>								
012	Río Lluta	0	7,4	588	1,1	5,1	0	<b>602</b>

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

En los siguientes apartados se hace un análisis detallado de la demanda hídrica por tipo de uso.

### 3.1 Uso humano

La demanda del sector sanitario se consideró como el agua requerida para bebida, uso doméstico y saneamiento, la que puede ser de tipo urbana, o rural.

#### 3.1.1 Demografía

A partir de la información secundaria disponible, se da cuenta del perfil sociodemográfico de la región, provincias y comunas de la cuenca del río Lluta.

#### **Información regional: Arica y Parinacota**

La cuenca de Lluta se ubica en la Región de Arica y Parinacota, la región más septentrional del país. Esta región fue creada a través de la Ley N° 20.175 del 8 de octubre de 2007, quedando conformada por la provincia de Arica y la provincia de Parinacota (GORE Arica y Parinacota, 2018). Tiene una superficie de 16.873,30 km<sup>2</sup>, un 2,2% del territorio nacional. De acuerdo con el Censo 2017, la población de la región es de 226.068 habitantes con una densidad de 13,4 habitantes por km<sup>2</sup>. Limita al norte con la República del Perú, al sur con la región de Tarapacá, al este con la República de Bolivia y al oeste con el Océano Pacífico (INE, 2017).

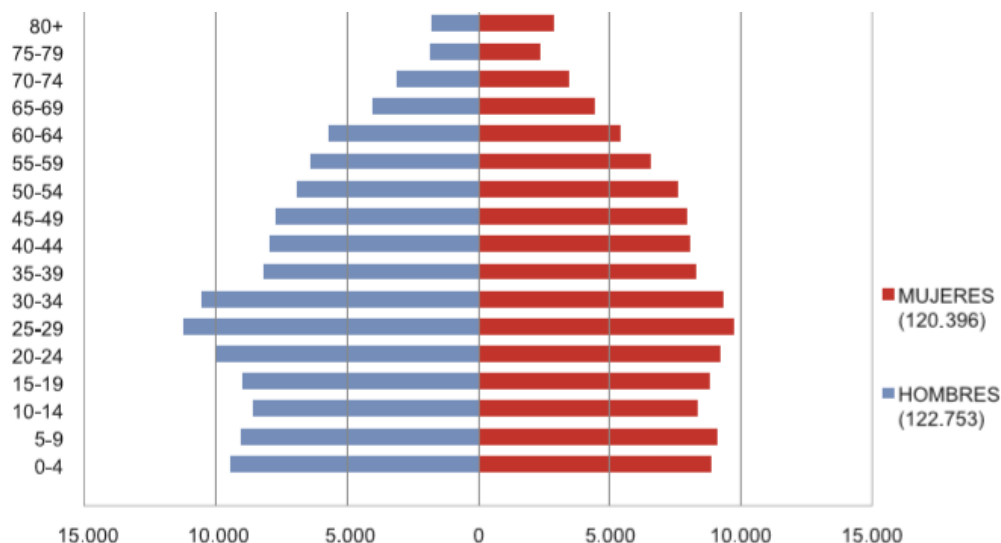
La región está conformada por dos Provincias: de Arica y de Parinacota y 4 comunas, de las cuáles las de Arica, Putre y General Lagos están relacionadas con esta cuenca (Tabla 3.4).

**Tabla 3.4 Provincias y Comunas región de Arica y Parinacota.**

Región Arica y Parinacota/Provincias	Capital Provincial	Comunas	Relacionadas con Cuenca del Lluta
Arica	Arica	Arica	X
		Camarones	
Parinacota	Putre	Putre	X
		General Lagos	X

Fuente: GORE Arica y Parinacota (2018).

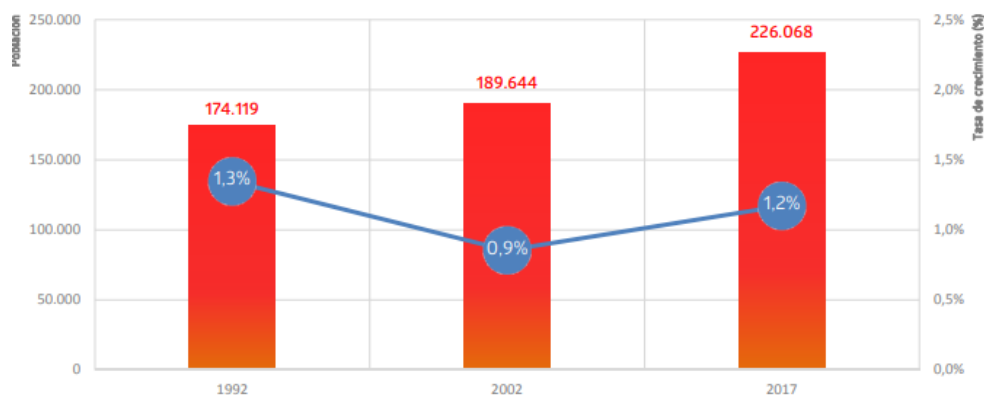
Respecto a la población regional proyectada por sexo, se observa un equilibrio entre ambos sexos. El año 2002 las mujeres representaban el 50,2% en comparación con los hombres que representaban el 49,8%. De acuerdo con las proyecciones para el año 2020 realizadas en base a la CASEN, estas cifras se invierten con un 50,55% de la población compuesta por hombres, mientras que las mujeres representan al 49,45% (GORE Arica y Parinacota, 2018). La Figura 3.1 muestra una pirámide de población más bien regresiva, propia de sectores que están envejeciendo.



Fuente: GORE Arica y Parinacota (2018).

**Figura 3.1 Proyección de la población 2013 a 2020. Región de Arica y Parinacota.**

Respecto a la evolución de la población y sus tasas de crecimiento intercensal (Figura 3.2), los datos indican que en el último período intercensal (2002-2017), la región pasó de 189.644 a 226.068 personas, lo que significa un incremento de 36.424. La mayoría de la población se ubica en la comuna de Arica, la capital, con un 97,9% de concentración. El resto está en un 1,2% en la comuna de Putre, 0,6% en la comuna de Camarones y 0,3% en la comuna de General Lagos.



Fuente: Síntesis estadística Región Arica y Parinacota, INE (2019).

**Figura 3.2 Evolución de la población y tasa de crecimiento intercensal. Censo 1992- 2017. Región Arica y Parinacota.**

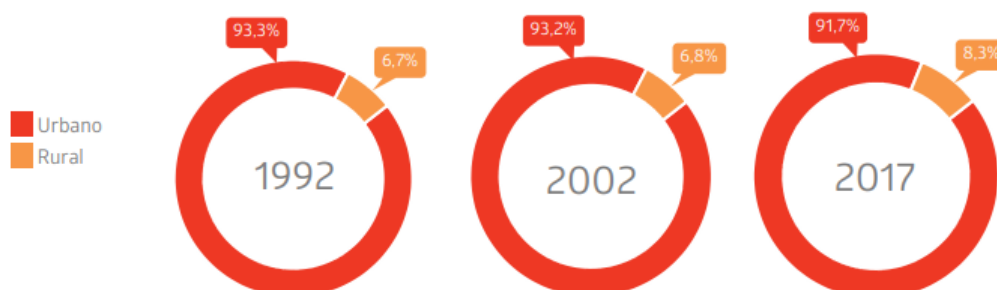
Con relación a los grupos de edad (Figura 3.3), la región muestra un envejecimiento progresivo, dado por el descenso de la población de menores de 15 años. En 1992 ese tramo era de 29,6% y en el año 2017 era de 21,8%. Asimismo, se observa que la población mayor de 64 años pasó de 4,8% en el año 1992 a 10,9% en el año 2017:



Fuente: Síntesis estadística Región Arica y Parinacota, INE (2019).

**Figura 3.3 Evolución de la población por tramo etéreo. Censos 1992, 2002 y 2017.**

Respecto al área de residencia de la población (Figura 3.4), los datos indican que la población rural aumentó en comparación con censos anteriores. En 1992 llegó a 6,7%, en 2002 a un 6,8% y en 2017 representó 8,3% del total. La población urbana disminuyó. En 1992 un 93,3% (162.536 personas) vivían en áreas urbanas, el 2002 fue de un 93,2% y el año 2017 la cifra alcanzó un 91,7% con un total de 207.231 personas en el área urbana de la región.



Fuente: Síntesis estadística Región Arica y Parinacota, INE (2019).

**Figura 3.4 Evolución de la población por área urbana/rural. Censos 1992, 2002 y 2017.**

A pesar de los datos que entrega al INE, la Estrategia de Desarrollo Regional (GORE Arica y Parinacota, 2018) establece que la sensación de la comunidad regional es el despoblamiento de las comunas rurales de la región, que son precisamente las que mayor cantidad de población indígena presentan. Las razones son la emigración constante de población del interior hacia la ciudad, más las dinámicas de crecimiento de la población, las que son parte de un modo de vida, en que el traslado a la ciudad para trabajar o estudiar es habitual (Fundación Superación de la Pobreza, 2016; GORE Arica y Parinacota, 2018).

Respecto a la población indígena de la región, el pueblo aymara es el que tiene más representatividad en ella, concentrándose, a nivel país, casi exclusivamente en esta región y en la región de Tarapacá, con un 21% en Arica Parinacota y un 10,6% en Tarapacá.

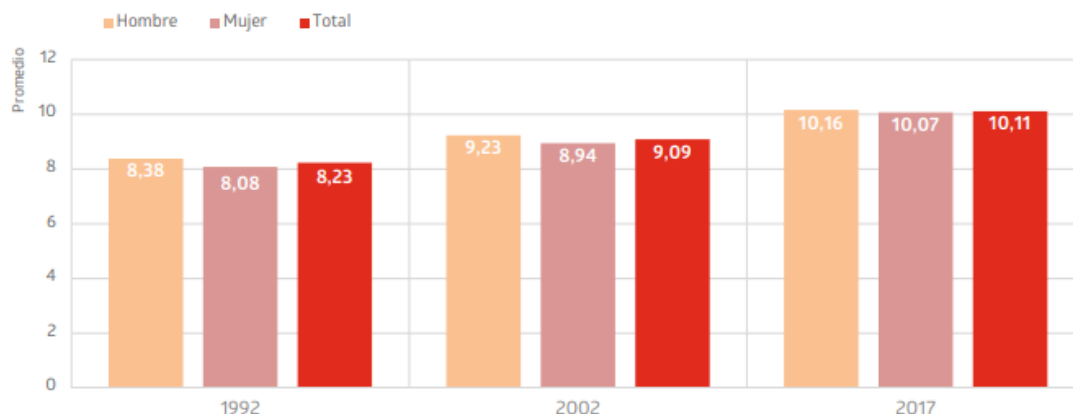
Específicamente, en la región de Arica y Parinacota la población indígena llega a 35,7% de la población total. De éste, un 75,3% se considera perteneciente al pueblo Aymara, un 10,0% Mapuche y 6,1% se considera perteneciente a otro pueblo originario. La Tabla 3.5 muestra el total de población de la región que se adscribe a un pueblo indígena.

**Tabla 3.5 Población que se adscribe a un pueblo indígena. Región de Arica y Parinacota.**

Pueblo	Casos	Porcentaje (%)
Mapuche	7.858	10,0%
Aymara	59.432	75,3%
Rapa Nui	38	0,0%
Lican Antai	744	0,9%
Quechua	2.659	3,4%
Colla	312	0,4%
Diaguita	1.898	2,4%
Kawésqar	26	0,0%
Yaqán o Yámana	8	0,0%
Otro	4.841	6,1%
Pueblo ignorado	1.067	1,4%
Total	78.883	100%

Fuente: Síntesis estadística Región Arica y Parinacota, INE (2019).

Respecto al nivel educacional de la región (Figura 3.5), las personas de 5 años o más aumentaron en 1,88 años promedio entre 1992 y 2017, con 8,23 el año 1992 y 10,11 años el 2017. El censo del año 2017 mostró una disminución de la brecha entre hombres y mujeres en esta materia.

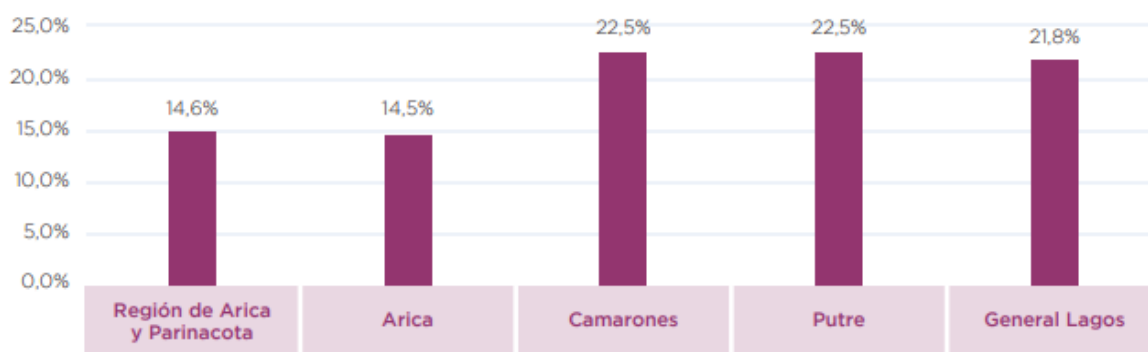


(1) Se excluyen las personas que no tienen información sobre el curso más alto alcanzado y/o nivel más alto aprobado.

Fuente: INE (2019).

**Figura 3.5 Promedio de años de escolaridad de población de 5 años o más, según sexo. Región Arica y Parinacota.**

La situación de pobreza en la región muestra que ésta es más alta en las comunas del interior, que es precisamente en las que se concentra la población indígena de la zona (Figura 3.6).

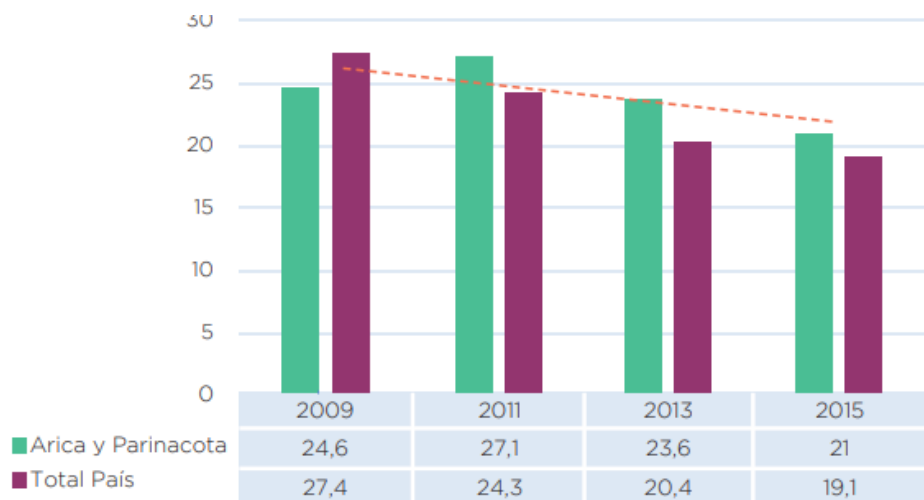


Fuente: Encuesta Casen 2015 en GORE Arica y Parinacota (2018).

**Figura 3.6 Personas en situación de pobreza por ingresos por comunas 2013.**

En relación con la pobreza multidimensional<sup>11</sup> de la región (Figura 3.7), se observa un aumento desde el año 2009 al 2011, y luego un decrecimiento hacia los años 2013 y 2015. En el año 2009 el nivel en la región de Arica y Parinacota está bajo el nivel nacional, mientras que desde el año 2011 se ha mantenido por sobre el promedio nacional, mostrándose la misma tendencia a la baja.

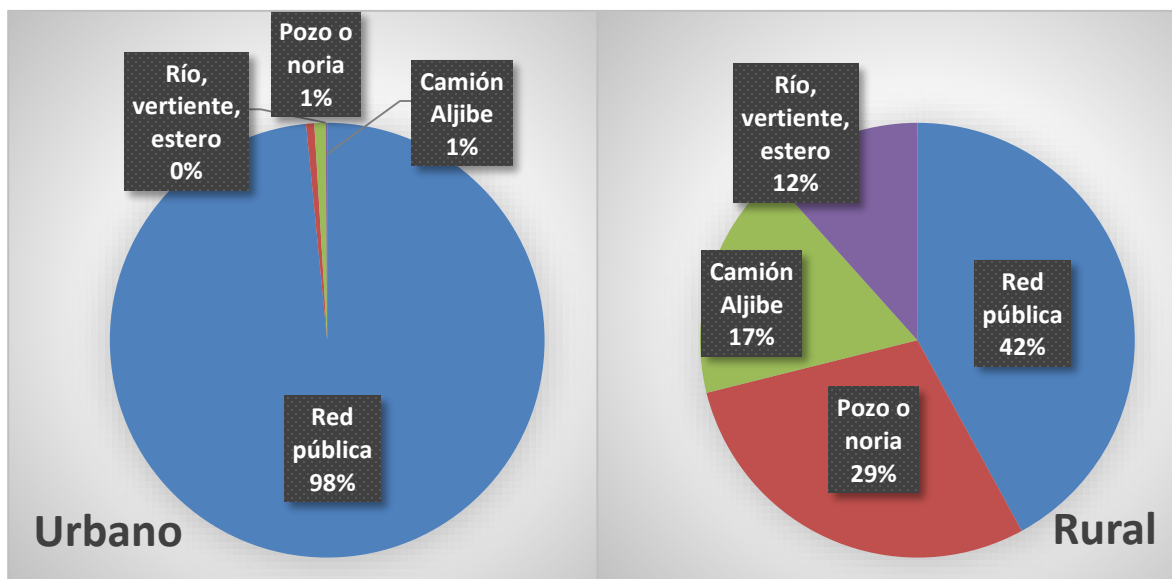
<sup>11</sup> La medida de pobreza multidimensional en la encuesta CASEN 2013, se basa en cuatro dimensiones (Eduación, Salud, Trabajo y Seguridad Social, y Vivienda) y doce indicadores (Asistencia, Rezago Escolar, Escolaridad, Malnutrición en Niños/as, Adscripción al Sistema de Salud, Atención, Ocupación, Seguridad Social, Jubilaciones, Hacinamiento, Estado de la Vivienda, Servicios Básicos).



Fuente: DIPLADE sobre datos Casen 2015, en GORE Arica y Parinacota (2018).

**Figura 3.7 Pobreza Multidimensional Arica y Parinacota y Nivel país.**

Respecto al origen del agua de las viviendas de la región, y según se muestra en la Figura 3.8, los datos indican que en el sector urbano ésta proviene de la red pública en su gran mayoría: 98,4%. En las zonas rurales hay una mayor dispersión de situaciones. La obtención de agua a través de red pública disminuye a un 42%. A este le siguen pozo o noria, 29,1%, camión aljibe 17,3%; y río, vertiente, estero, canal, lago, etc., con 11,6% del total (INE, 2020).



Fuente: Síntesis estadística Región Arica y Parinacota, INE (2019).

**Figura 3.8 Porcentaje de viviendas particulares ocupadas de la región de Arica y Parinacota, por áreas, según el origen del agua. Censo 2017.**

## **Comuna de Arica**

La comuna de Arica limita al norte con Perú, ubicada a 19 Km de la Línea de la Concordia donde se encuentra el complejo fronterizo de Chacalluta, el más activo del país y a 2.071 km de Santiago, al sur limita con la comuna de Camarones. Los poblados y localidades que conforman la comuna son: Poconchile, en el Valle del Río Lluta y San Miguel de Azapa, en el valle del mismo nombre. Otras localidades de la comuna son Villa Frontera, Molinos, Sora, Alto Ramírez, Sobraya, Ausipar y Timar. La comuna posee una superficie de 4.799 km<sup>2</sup> (GORE Arica y Parinacota, 2018).

Los datos indican que la variación intercensal entre 2002-2017 (Tabla 3.6) fue de 19,48%, manteniendo la mayor cantidad de población de la región.

**Tabla 3.6 Variación Intercensal Población Comuna de Arica.**

<b>Población Censal</b>	<b>Censo 2002</b>	<b>Censo 2017</b>	<b>Variación (%)</b>
Comuna de Arica	185.268	221.364	19,48
Región de Arica y Parinacota	189.644	226.068	19,21
País	15.116.435	17.574.003	16,26

Fuente: Síntesis Resultados Censo de 2017 (Dirección Regional de Estadísticas de Arica y Parinacota, 2019).

Respecto a la población según sexo (Tabla 3.7), se observa mayor cantidad de población femenina, la que ha ido en aumento entre el año 2002 y 2017, estableciendo un índice de masculinidad <sup>12</sup>un poco más bajo que el del Censo del año 2002:

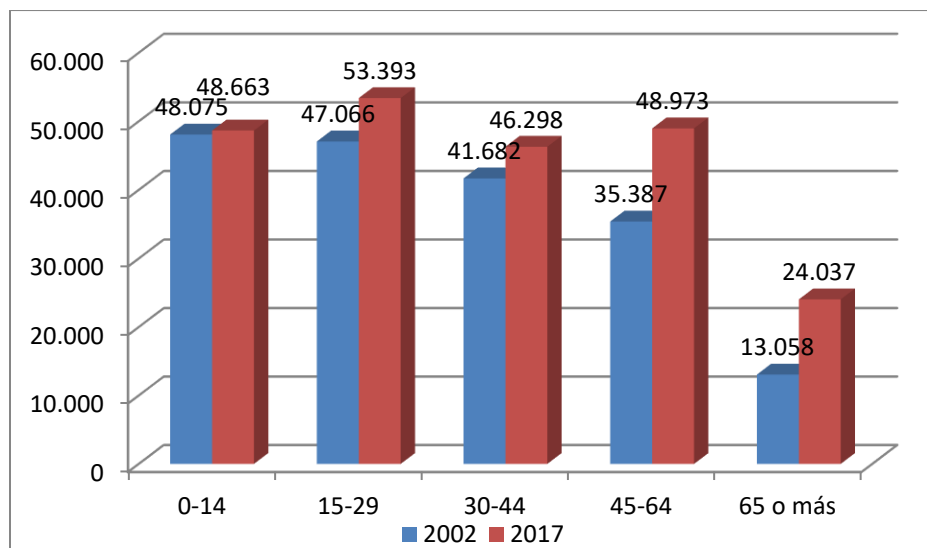
**Tabla 3.7 Variación Intercensal Población Comuna de Arica, según sexos e índice de masculinidad.**

<b>Arica</b>	<b>Año 2002</b>		<b>Año 2017</b>		<b>Índice Masculinidad</b>	
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	2002	2017
	91.742	93.526	109.389	111.975	98,09	97,69

Fuente: Síntesis Resultados Censo de 2017 (Dirección Regional de Estadísticas de Arica y Parinacota, 2019).

La variación intercensal de la población de la comuna por rango de edad (Figura 3.9) muestra un aumento de la población en todos los tramos de edad, pero este aumento es mucho mayor en el tramo de 45 a 64 años, lo que refleja lo que se observa en las pirámides poblacionales de la región: el envejecimiento progresivo de la población.

<sup>12</sup> El índice de masculinidad expresa la composición por sexo de una población, en términos de la relación entre la cantidad de hombres y la cantidad de mujeres.



Fuente: elaboración propia a partir de Síntesis Resultados Censo de 2017 (Dirección Regional de Estadísticas de Arica y Parinacota, 2019).

**Figura 3.9 Variación intercensal de la población por tramo de edad, comuna de Arica.**

La población de la comuna que se adscribe a algún pueblo indígena es de 75.883, un 35,08% del total comunal. De las personas que se adscriben a algún pueblo indígena, un 26,27% se considera perteneciente al pueblo aymara. Hay una gran cantidad de personas, un 2,71% de quienes se adscriben a algún pueblo indígena, que señala pertenecer a 'otro pueblo indígena' no mencionado en las alternativas entregadas. El desglose por pueblo se muestra en la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8 Población Comunal de Arica que se adscribe a algún pueblo indígena.**

Pueblo indígena	2002	2017
Kawésqar/Alacalufe	38	26
Atacameño/LikanAntai	486	740
Aymara	23.288	56.827
Colla	164	308
Mapuche	2.517	7.690
Quechua	382	2.504
Rapa Nui	35	38
Yámana/Yagán	46	8
Diaguíta	0	1.887
Otro pueblo	0	5.855
Total pueblos indígenas	26.956	75.883

Fuente: Reportes Comunales. Síntesis Resultados Censo de 2017. (Dirección Regional de Estadísticas de Arica y Parinacota, 2019).

Respecto a los indicadores de pobreza (Tabla 3.9), la comuna presenta un porcentaje algo mayor en la pobreza por ingreso a nivel regional. Lo mismo sucede con la pobreza multidimensional, que presenta un 0,57% más que el promedio regional.

**Tabla 3.9 Indicadores de pobreza en la comuna de Arica.**

Comuna	Pobreza Ingresos	Pobreza Multidimensional
Arica	8,86	18,05
Región de Arica y Parinacota	7,81	17,48
País	10,41	16,63

Fuente: Reportes Comunales. Síntesis Resultados Censo de 2017. (Dirección Regional de Estadísticas de Arica y Parinacota, 2019).

### **Comuna de Putre**

Putre, capital de la Provincia de Parinacota, se ubica a 149 km de Arica y a 3.500 m s.n.m. Se estableció como pueblo en 1580, cumplió funciones de asentamiento para los españoles encargados del tránsito entre Potosí y Arica (GORE Arica y Parinacota, 2020). Los datos para esa comuna indican que la población aumentó en el período intercensal 2002-2017 en un 39,86% (ver Tabla 3.10).

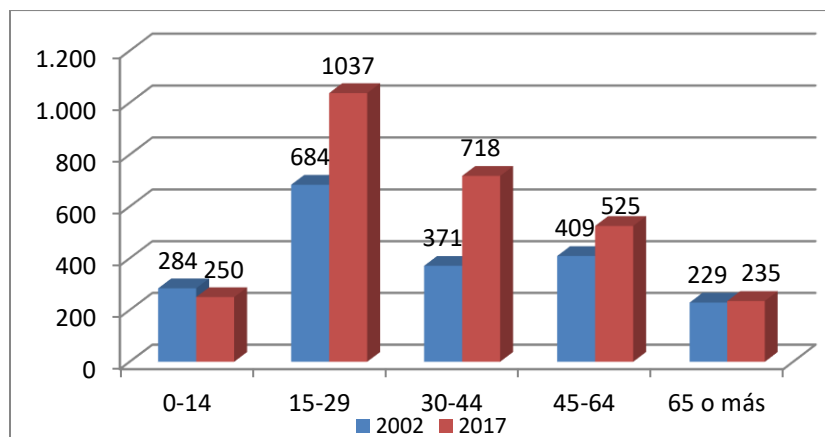
**Tabla 3.10 Variación Intercensal Población en la comuna de Putre, según sexo e índice de masculinidad.**

Población Censal	Censo 2002		Censo 2017		Variación (%)
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	
Comuna de Putre	1.345	632	2.054	711	39,86
Índice de masculinidad	212,82		288,89		
Total	1.977		2.765		
Región de Arica y Parinacota	189.644		226.068		19,21
País	15.116.435		17.574.003		16,26

Fuente: Síntesis Resultados Censo de 2017 (Dirección Regional de Estadísticas de Arica y Parinacota, 2019).

Respecto a la población según sexo, se observa en la Tabla 3.10 mayor cantidad de población masculina, la que ha ido en aumento entre el año 2002 y 2017, estableciendo un índice de masculinidad de 288,89 el año 2017. La variación en la población regional es mayor que la variación del país.

La población de la comuna por rango de edad (Figura 3.10) muestra un aumento de la población en todos los rangos de edad menos en el de 0 a 14 años, observándose un aumento significativo en el tramo de entre 15 a 29 años, lo que puede relacionarse con el aumento del índice de masculinidad. Hay que recordar, además, que en la zona existe un regimiento y una serie de empresas privadas y de servicios públicos que pueden explicar este aumento en ese tramo de edad específico.



Fuente: elaboración propia a partir de Síntesis Resultados Censo de 2017 (Dirección Regional de Estadísticas de Arica y Parinacota, 2019).

**Figura 3.10 Variación intercensal de la población por tramo de edad, en la comuna de Putre.**

La población de la comuna que se adscribe a algún pueblo indígena es de 1.604, un 59,2% del total comunal. El desglose por pueblo se muestra en la Tabla 3.11.

**Tabla 3.11 Población Comunal de Putre que se adscribe a algún pueblo indígena.**

Pueblo indígena	2002	2017
Kawésqar/Alacalufe	1	0
Atacameño/LikanAntai	3	1
Aymara	1.005	1.325
Colla	6	4
Mapuche	25	120
Quechua	3	134
Rapa Nui	2	0
Yámana/Yagán	1	0
Diaguita	0	3
Otro pueblo	0	17
Total pueblos indígenas	1.046	1.604

Fuente: Reportes Comunales. Síntesis Resultados Censo de 2017 (Dirección Regional de Estadísticas de Arica y Parinacota, 2019).

Respecto a las tasas de pobreza (Tabla 3.12), la comuna muestra un alto índice en pobreza de ingresos y en pobreza multidimensional, índices que son más altos que el promedio regional y nacional.

**Tabla 3.12 Tasa de pobreza en la comuna de Putre.**

	Por ingresos	Multidimensional
Comuna de Putre	31,13	58,17
Región Arica y Parinacota	7,81	17,48
País	10,41	16,63

Fuente: Reportes Comunales. Síntesis Resultados Censo de 2017 (Dirección Regional de Estadísticas de Arica y Parinacota, 2019).

### **Comuna de General Lagos**

La comuna de General Lagos tiene una superficie de 2.244 km<sup>2</sup> y una población de 684 personas según el Censo del año 2017 (Tabla 3.13). Se ubica en el punto más septentrional del país, en el hito fronterizo tripartito entre Chile, Perú y Bolivia, a 4.064 m s.n.m., a 270 km de Arica y a 2 km del poblado boliviano de Charaña (SUBDERE, 2020).

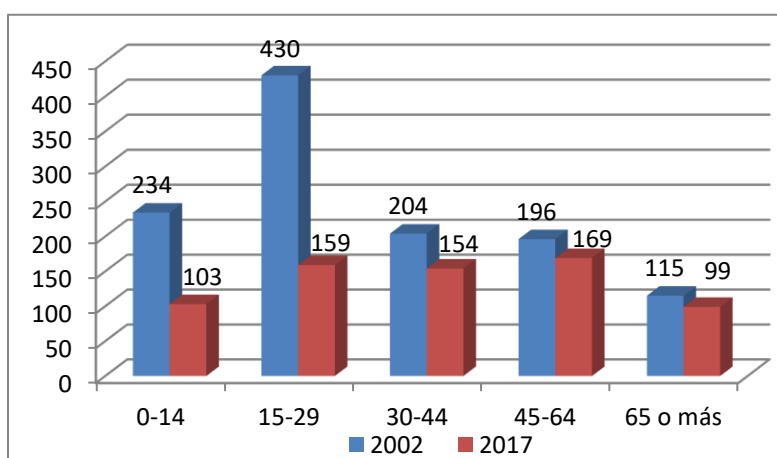
La Tabla 3.13 muestra la variación intercensal de población en esta comuna, que muestra una baja poblacional importante de cerca de 495 personas, disminuyendo también el índice de masculinidad en el período. La población actual de la comuna representa un 0,3% del total regional.

**Tabla 3.13 Variación Intercensal Población en la comuna de General Lagos, según sexo e índice de masculinidad.**

Población Censal	Censo 2002		Censo 2017		Variación (%)
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	
Comuna de General Lagos	761	418	412	272	-41,98
Índice de masculinidad	182,06		151,47		
Total	1.179		684		
Región de Arica y Parinacota	189.644		226.068		19,21
País	15.116.435		17.574.003		16,26

Fuente: Reportes Comunales. Síntesis Resultados Censo de 2017 (Dirección Regional de Estadísticas de Arica y Parinacota, 2019).

La distribución por edades de la comuna de General Lagos en el período intercensal 2002- 2017 (Figura 3.11) muestra una disminución importante de la población en todos los rangos de edad, lo que evidencia un preocupante despoblamiento en esta zona fronteriza.



Fuente: elaboración propia a partir de Síntesis Resultados Censo de 2017 (Dirección Regional de Estadísticas de Arica y Parinacota, 2019).

**Figura 3.11 Variación intercensal de la población por tramo de edad, en la comuna de General Lagos.**

Respecto a la adscripción a algún pueblo indígena, del total de personas que reside en la comuna, un 74,27% se adscribe a algún pueblo indígena, de éste, el 71,63% lo hace al pueblo aymara, siendo el grupo mayoritario y predominante en la comuna (Tabla 3.14).

**Tabla 3.14 Población Comunal que se adscribe a algún pueblo indígena en la comuna de General Lagos.**

<b>Pueblo indígena/Año Censo</b>	<b>2002</b>	<b>2017</b>
Kawésqar/Alacalufe	0	0
Atacameño/LikanAntai	2	0
Aymara	704	490
Colla	0	0
Mapuche	23	14
Quechua	2	0
Rapa Nui	0	0
Yámana/Yagán	0	0
Diaguita	0	0
Otro pueblo	0	4
Total pueblos indígenas	731	508

Fuente: Reportes Comunales. Síntesis Resultados Censo, 2017. (Dirección Regional de Estadísticas de Arica y Parinacota, 2019).

### 3.1.2 Agua potable urbana, histórica y proyectada

A continuación, se presenta la información referente al agua potable urbana, tanto histórica como proyectada en la cuenca del río Lluta.

#### **Histórica**

Según el estudio DGA (2017c), en la cuenca del río Lluta no existe demanda hídrica para uso de agua potable urbana y tampoco hay una proyección a futuro. Sin embargo, la ciudad de Arica se ve abastecida por la empresa sanitaria Aguas del Altiplano a partir de captaciones subterráneas ubicadas tanto en el valle del río San José, como en el valle del río Lluta.

Según lo indicado en la Actualización de Planes de Desarrollo Arica (SISS, 2018), Aguas del Altiplano cuenta en el valle del Río Lluta con 11 sondajes, con una profundidad media de 130 m, los que surten la Planta de Tratamiento de Desalación a través de una recolectora de 11 km de desarrollo. La Planta Desalinizadora Lluta funciona mediante Osmosis Inversa y tiene una capacidad instalada de 206 l/s, a partir de la cual resulta un agua de muy buena calidad. Las aguas tratadas son conducidas al estanque de Cerro Chuño y a la planta elevadora de agua potable (PEAP) Estadio, donde se mezcla con alrededor de 598 l/s de agua proveniente de los sondajes de menor calidad del valle de Azapa y de la ciudad. De este modo, la ciudad de Arica se abastece en un 30% con agua del acuífero del Lluta, cuyos derechos de aprovechamiento de agua y capacidades de sondajes se presentan en la Tabla 3.15.

**Tabla 3.15 Resumen de derechos y capacidad de sondajes de Arica**

Nombre grupo captaciones	Q derechos	Q traslado D°	Q capacidad de explotación (l/s)		Abastecimiento ciudad de Arica
	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(%)	(%)
Total derechos valle de Azapa y ciudad	463+157*=620	110,3	598	96,5	69,4
Total derechos subterráneos Valle de Lluta	368,5	167,0	263,9	71,6	30,6
Total derechos superficiales Valle de Lluta	400	0	Fuente de reserva	0	0
Total derechos constituidos	1.388,5		861,9	62,1	100

\* Derechos arrendados a particulares.

Fuente: Actualización de Planes de Desarrollo Arica (SISS, 2018)

### **Proyectada**

La Actualización del Plan de Desarrollo Arica (SISS, 2018), realiza una proyección para un horizonte de 15 años, a partir de un análisis de las tendencias históricas en el período 2005-2016. Así, estiman una tasa de crecimiento de clientes de un 2,01%. La población servida presenta una cobertura de 100%, y los caudales demandados de producción de agua potable proyectados (en l/s) serían los indicados en la Tabla 3.16.

**Tabla 3.16 Proyecciones de población y demanda de producción en las áreas concesionadas por Aguas del Altiplano**

Año	Población abastecida (hab)	Índice Habit. (hab/viv)	Clientes (hab)	Dotaciones de consumo		Q demanda (l/s)	Q demanda Lluta (30%) (l/s)	
				Población (l/hab/día)	Clientes (m³/cliente/mes)			
0	2017	215.417	3,38	63.733	176	18,1	439	132
1	2018	218.451	3,36	65.015	175,5	17,9	444	133
2	2019	221.519	3,34	66.323	175	17,8	449	135
3	2020	223.608	3,31	67.657	175,3	17,6	454	136
4	2021	228.107	3,31	69.019	173,8	17,5	459	138
5	2022	232.696	3,31	70.407	172,3	17,3	464	139
6	2023	235.223	3,28	71.824	172,4	17,2	469	141
7	2024	237.757	3,25	73.269	172,5	17,0	475	142
8	2025	240.298	3,22	74.743	172,6	16,9	480	144
9	2026	243.608	3,20	76.246	172,2	16,7	486	146
10	2027	248.509	3,20	77.780	170,7	16,6	491	147
11	2028	253.508	3,20	79.345	169,2	16,4	496	149
12	2029	258.608	3,20	80.942	167,8	16,3	502	151
13	2030	263.811	3,20	82.570	166,3	16,2	508	152
14	2031	268.276	3,19	84.231	165,4	16,0	514	154
15	2032	273.674	3,19	85.926	164,0	15,9	519	156

Fuente: Actualización de Planes de Desarrollo Arica (SISS, 2018).

Los caudales de demanda de producción incorporan dotaciones de consumo variando de 176,0 l/hab/día en 2017 a 164,0 l/hab/día en 2032. Considerando que el 30% del agua potable demandada proviene del acuífero de Lluta, y asumiendo que la proporción se mantiene, significaría una demanda proyectada al 2032 de 156 l/s en la cuenca del río Lluta. Se considera que las demandas estimadas en el año 2032, serán igualmente consideradas al año 2050, como una condición conservadora.

### **Eficiencia**

Según la Actualización de Planes de Desarrollo Arica (SISS, 2018), el factor verificado de pérdidas en la distribución es de 26,69%, mientras que el total es de 28,26%. Estos valores se asignan como constantes para la proyección al 2032.

En la Tabla 3.17 se presenta la proyección de pérdidas hasta el año 2032.

**Tabla 3.17 Proyección de caudales y pérdidas de agua potable hasta el año 2032.**

Año	Consumo anual (m <sup>3</sup> )	Qm consumo (l/s)	Qmax consumo (l/s)	Pérdidas distribución		Pérdidas totales		Q salida estanques		Q en fuentes		Pérdidas Totales PTOI Lluta		Pérdidas Totales PTOI Estadio		Caudal en Fuentes (*)	
				%	l/s	%	l/s	Qm (l/s)	Qmax d (l/s)	Qm (l/s)	Qmax d (l/s)	%	Qmax d (l/s)	%	Qmax d (l/s)	Qmax d (l/s)	
0	2017	13.835.851	439	487	26,69	159,8	28,29	173,1	598,5	664,3	611,8	679,1	25	42,7	25	9,3	731,1
1	2018	13.992.327	444	493	28,29	161,6	28,29	175,0	605,3	671,8	618,7	686,8	25	47,9	25	9,3	744
2	2019	14.150.573	449	498	28,29	163,4	28,29	177,0	612,1	679,4	625,7	694,5	25	66,0	25	9,3	769,8
3	2020	14.310.609	454	504	28,29	165,2	28,29	179,0	619,0	687,1	632,8	702,4	25	66,0	25	9,3	777,7
4	2021	14.472.455	459	509	28,29	167,1	28,29	181,0	626,0	694,9	640,0	710,3	25	66,0	25	9,3	785,6
5	2022	14.636.131	464	515	28,29	169,0	28,29	183,1	633,1	702,7	647,2	718,4	25	66,0	25	9,3	793,7
6	2023	14.801.658	469	521	28,29	170,9	28,29	185,2	640,3	710,7	654,5	726,5	25	66,0	25	9,3	801,8
7	2024	14.969.057	475	527	28,29	172,9	28,29	187,3	647,5	718,7	661,9	734,7	25	66,0	25	9,3	810,0
8	2025	15.138.350	480	533	28,29	174,8	28,29	189,4	654,8	726,8	669,4	743,0	25	66,0	25	9,3	818,3
9	2026	15.309.557	486	539	28,29	176,8	28,29	191,5	662,2	735,1	677,0	751,4	25	66,0	25	9,3	826,7
10	2027	15.482.700	491	545	28,29	178,8	28,29	193,7	669,7	743,4	684,6	759,9	25	66,0	25	9,3	835,2
11	2028	15.657.802	496	551	28,29	180,8	28,29	195,9	677,3	751,8	692,4	768,5	25	66,0	25	9,3	843,8
12	2029	15.834.884	502	557	28,29	182,8	28,29	198,1	685,0	760,3	700,2	777,2	25	66,0	25	9,3	852,5
13	2030	16.013.968	508	564	28,29	184,9	28,29	200,3	692,7	768,9	708,1	786,0	25	66,0	25	9,3	861,3
14	2031	16.195.078	514	570	28,29	187,0	28,29	202,6	700,6	777,6	716,1	794,0	25	66,0	25	9,3	870,2
15	2032	16.378.236	519	577	28,29	189,1	28,29	204,9	708,5	786,4	724,2	803,9	25	66,0	25	9,3	879,2

(\*) Incluye pérdidas de PTOI Lluta y PTOI Estadio

Fuente: Actualización de Planes de Desarrollo Arica (SISS, 2018).

### 3.1.3 Agua potable rural, histórica y proyectada

A continuación, se presenta la información referente al agua potable rural, tanto histórica como proyectada en la cuenca del río Lluta.

#### **Histórica**

La región cuenta con una infraestructura de obras hidráulicas que ha permitido el aprovechamiento hídrico para abastecer a la población rural. El Programa de Agua Potable Rural (APR) de la Dirección de Obras Hidráulicas cuenta con 21 sistemas a lo largo de toda la región de Arica y Parinacota. Dentro de la cuenca del río Lluta se encuentran 5 sistemas de Agua Potable Rural (APR), los que se indican en la Tabla 3.18, todos ellos se encuentran activos a la fecha y son administrados por un sistema de comités de cada localidad.

**Tabla 3.18 Sistemas de agua potable rural en la cuenca del río Lluta.**

Código SIAPR	Comuna	Nombre oficial sistema	Año puesta en marcha	N° Arranques a dic. 2019	Tipo	Benef. Est. a dic 2019 3,10 Benef/arr	Nombre
15010104	Arica	Comité Agua Potable Rural de Valle de Lluta	1998	825	Concentrado	2.558	LLUTA
15010107	Arica	Comité de Agua Potable Rural Villa Frontera	2008	327	Concentrado	949	VILLA FRONTERA-LA PONDEROSA
15010111	Arica	Comité de Agua Potable Rural de Molinos Chapisca y Sora	2014	78	Semi-concentrado	242	CHAPISCA-MOLINO-SORA
15020106	Putre	Comité de Agua Potable Rural de Putre	1983	431	Concentrado	1.337	PUTRE
15020107	Putre	Comité de Agua Potable Rural de Socoroma	1985	110	Concentrado	341	SOCOROMA

Información a diciembre de 2019.

Fuente: elaboración propia a partir del Listado de Cooperativas y Comités de Agua Potable Rural existentes<sup>13</sup>.

El estudio DGA (2017c), hace una estimación de la demanda de APR que es indicada en la Tabla 3.19, por subcuenca, en términos de caudal medio anual (en m<sup>3</sup>/s y l/s) y volumen anual demandado (miles de m<sup>3</sup> al año, Mm<sup>3</sup>/año), el que es similar a lo entregado por ICASS (DGA, 2016) por un valor de 9 l/s en toda la cuenca.

<sup>13</sup> Listado de Cooperativas y Comités de Agua Potable Rural existentes, DOH [en línea] <http://transparencia.doh.gov.cl/otrosantecedentes/otrosantecedentes.html> (visitado por última vez el 30/04/2021)

**Tabla 3.19 Estimación demanda de agua potable rural en la cuenca del río Lluta (año base: 2015).**

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica agua potable rural APR (2015)		
		Mm <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup> /s	l/s
0120	Río Lluta Alto	55,8	0,0018	1,8
0121	Río Lluta Bajo	177,4	0,0056	5,6
<b>TOTAL CUENCA</b>				
012	Río Lluta	233,2	0,0074	7,40

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

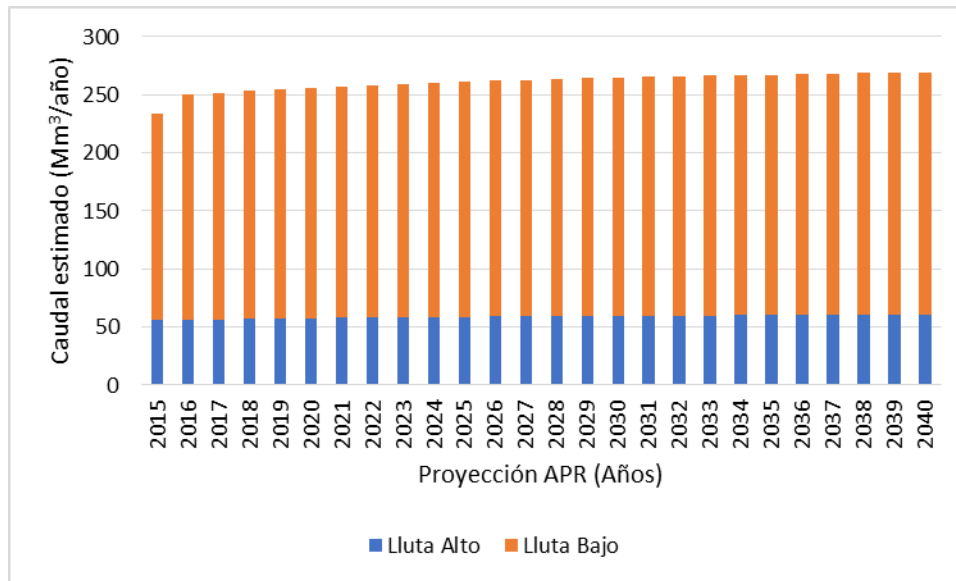
**Proyectada**

La estimación proyectada del agua potable rural a futuro en la cuenca del río Lluta y sus respectivas subcuencas se presenta en la Tabla 3.20 y la Figura 3.12, cuyos valores son similares a los estimados por ICASS (DGA, 2016) de 5,6 y 7,7 l/s en Lluta Alto y Bajo respectivamente, pero para el año de proyección del 2030. Se considera que las demandas estimadas en el año 2040, serán igualmente consideradas al año 2050, como una condición conservadora.

**Tabla 3.20 Proyección demanda hídrica para agua potable rural anual (Mm<sup>3</sup>/año) – Período 2016-2040 – Subcuencas del río Lluta.**

Año	Subcuenca		Total Cuenca Mm <sup>3</sup> /año	Año	Subcuenca		Total Cuenca Mm <sup>3</sup> /año
	Lluta Alto Mm <sup>3</sup> /año	Lluta Bajo Mm <sup>3</sup> /año			Lluta Alto Mm <sup>3</sup> /año	Lluta Bajo Mm <sup>3</sup> /año	
2015	55,8	177,4	233,2	2028	59,2	204,3	263,5
2016	56,2	194,0	250,2	2029	59,3	204,9	264,2
2017	56,5	195,2	251,8	2030	59,5	205,3	264,8
2018	56,9	196,4	253,3	2031	59,6	205,8	265,4
2019	57,2	197,5	254,7	2032	59,7	206,2	266,0
2020	57,5	198,5	255,9	2033	59,8	206,6	266,5
2021	57,7	199,4	257,1	2034	59,9	207,0	266,9
2022	58,0	200,3	258,2	2035	60,0	207,3	267,4
2023	58,2	201,1	259,3	2036	60,1	207,7	267,8
2024	58,4	201,8	260,3	2037	60,2	208,0	268,2
2025	58,6	202,5	261,2	2038	60,3	208,2	268,5
2026	58,8	203,2	262	2039	60,4	208,5	268,9
2027	59,0	203,8	262,8	2040	60,4	208,7	269,2

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

**Figura 3.12 Proyección demanda hídrica para agua potable rural anual (Mm³/año) – Período 2016-2040 – Subcuencas del río Lluta.**

### **Eficiencia**

No se cuenta con información de las pérdidas asociadas a los sistemas APR de la cuenca, que al igual que los sistemas urbanos corresponden a los volúmenes producidos y que no son facturados por los consumidores finales, y que se asume que estos volúmenes corresponden a pérdidas por distribución en la red. Por lo tanto, de acuerdo a información de sistemas de APRs de la zona central, se estima que estas pérdidas deberían estar entre 20-30%.

#### **3.1.4 Derechos de agua para uso humano**

A continuación, se presenta la información referente a la demanda legal, es decir, a los derechos de aprovechamiento de aguas otorgados para uso humano, tanto urbano (concedidos a las empresas sanitarias) o rurales en la cuenca del río Lluta.

#### **Derechos de agua para uso urbano**

Según la planilla de derechos de agua obtenidos de la DGA (Tabla 3.21), existe un total de 12 derechos de agua de tipo consuntivo en el valle del río Lluta para uso de agua potable urbana, a nombre de Aguas del Altiplano y ECONSSA, 11 de los cuales son subterráneos y 1 de ellos es superficial.

**Tabla 3.21 Resumen de derechos concedidos a empresa sanitaria para abastecimiento de agua potable de la ciudad de Arica en el valle del río Lluta.**

Naturaleza del agua	Fuente	Ejercicio del derecho	N° Solicitudes	Q (l/s)
Subterráneo	Acuífero	Permanente y continuo	11	320,5
Superficial	Río Lluta	Eventual y continuo	1	400

Para detalles, ver expedientes VPC-1501-175, ND-0101-1468, ND-0101-79, ND-0101-306 y ND-0101-305.

Fuente: Catastro público de DAA, consultado en abril de 2020.

Esta información es corroborada al revisar la Actualización de los Planes de Desarrollo de Arica por parte de la empresa sanitaria Aguas del Altiplano (SISS, 2018), donde se indica el caudal total de derechos subterráneos y superficiales de la empresa sanitaria en el valle de Lluta. Como se observa en la Tabla 3.22. Los derechos subterráneos tienen una discrepancia de 1 l/s entre ambas fuentes de información.

**Tabla 3.22 Resumen de derechos y capacidad de sondajes de Arica**

Nombre grupo captaciones	Q derechos	Q capacidad de explotación (l/s)	
	(l/s)	(l/s)	(%)
Total derechos subterráneos Valle de Lluta	321,5	245,81	76
Total derechos superficiales Valle de Lluta	400	Fuente de reserva	0
Total derechos constituidos	751,5	245,81	33

Fuente: modificado de SISS (2018).

Según lo indicado en la Actualización del Plan de Desarrollo, Arica (SISS, 2018), Aguas del Altiplano tiene una capacidad de explotación de 245,81 l/s, lo que corresponde a un 76% de los derechos subterráneos. Los derechos superficiales los tendrían como reserva. De este modo, explotaría el 33% del caudal correspondiente al total de derechos en el valle de Lluta.

### **Derechos de agua para uso rural**

Otros derechos de aprovechamiento de aguas otorgados en la cuenca para bebida, uso doméstico y saneamiento son a beneficio de las comunidades indígenas de Chislluma, Ancocalane y Colpitas, el fisco, la Compañía Azufrera Nacional y dos personas naturales, sumando un caudal promedio total de 646,78 l/s. Para mayores detalles, consultar los expedientes del CPA NR-0101-87, NR-0102-263, NR-0102-262, NR-0102-260, NR-0102-270, ND-0101-305, ND-0101-79, UA-0101-800203 y UA-0101-800189.

## **3.2 Necesidades mínimas ambientales**

El recurso hídrico es necesario para la protección ambiental, tanto en términos de flora y de fauna, como de protección del patrimonio ambiental. A continuación, se presenta la información referente al agua reservada para abastecer y suplir las necesidades ambientales de la cuenca del río Lluta.

### 3.2.1 Consideración de sistemas protegidos

En la cuenca del río Lluta existen algunos sectores y áreas con algún grado de protección con fines de conservación, las que se indican en la Tabla 3.23.

**Tabla 3.23 Áreas con algún grado de protección con fines de conservación de la cuenca del Río Lluta**

Sitio	Superficie (km <sup>2</sup> )*	Categoría	Año de creación	Código
Quebrada Cardones	67	Monumento Natural	13-02-2010	WDPA-009
Lauca	1378	Parque Nacional	29-08-1970	WDPA-026
Humedal de la Desembocadura del Río Lluta	0,3	Santuario de la Naturaleza	28-11-2009	WDPA-116
Cerro Poconchile	12	Bien Nacional Protegido	14-08-2010	BNP-001
Lauca	3583	Reserva Biósfera	1981	RBIO-005
Japocota	0,8	Acuíferos protegidos	28-11-1996	RES N° 909/28-11-1996
Iscajoco	0,4	Acuíferos protegidos	28-11-1996	RES N° 909/28-11-1996
Cerros de Poconchile	61	Sitios ERB	-	SP2-111
Valle de Lluta	26	Sitios ERB	-	SP2-116
Cuesta El Águila - Quebrada Cardones	45	Sitios ERB	-	SP2-118

\*: Superficies redondeadas

Fuente: elaboración propia en base al Registro Nacional de Áreas Protegidas el MMA<sup>14</sup>.

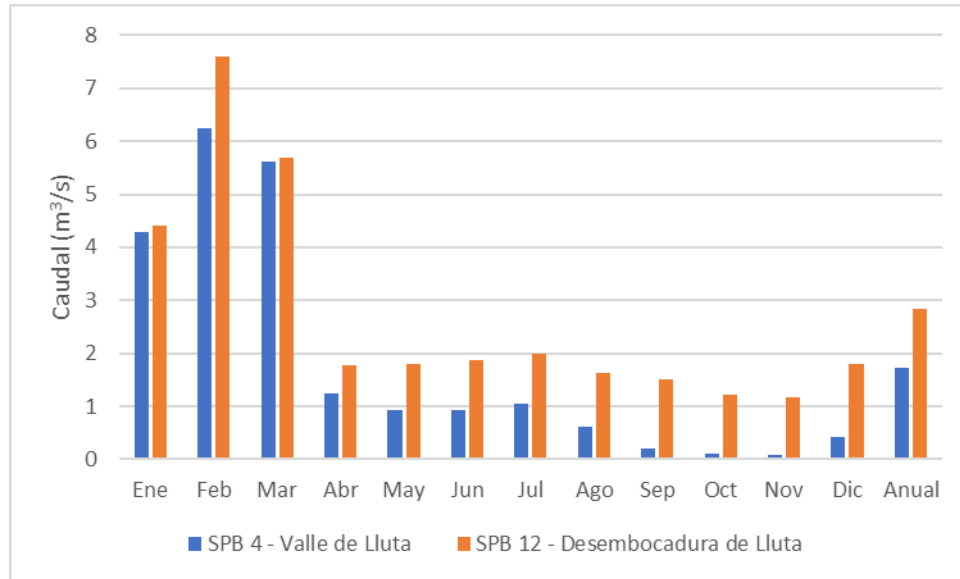
La demanda hídrica actual relacionada con el caudal para protección ambiental se explica en la metodología incluida en el Capítulo 12 del Volumen I del estudio de DGA (2017c). En la cuenca del río Lluta se tienen dos sitios prioritarios para la diversidad, ambos en la subcuenca del río Lluta Bajo, los cuales son la desembocadura del río Lluta (SPB 4) y el valle de Lluta (SPB 12), y cuyos caudales para protección ambiental se presentan en la Tabla 3.24 y en la Figura 3.13.

**Tabla 3.24 Caudales para protección ambiental (m<sup>3</sup>/s).**

Sitio/ Nombre	Estación	Caudales protección ambiental (m <sup>3</sup> /s)												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
SPB4 Desemb. Río Lluta	Río Lluta en Panamericana (FV 36)	4,30	6,25	5,61	1,24	0,92	0,92	1,05	0,61	0,20	0,10	0,08	0,43	1,72
SPB12 Valle Lluta	Río Lluta en Tocontasi (FV 30)	4,40	7,59	5,68	1,78	1,81	1,87	2,00	1,62	1,51	1,22	1,16	1,79	2,85

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

<sup>14</sup> Registro Nacional de Áreas Protegidas [en línea] <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/> (visitado por última vez el 27-07-2020).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

**Figura 3.13 Caudales de protección ambiental por sitio prioritario para la biodiversidad.**

No se tiene información de demanda para protección ambiental futura, la que está directamente relacionada con planificaciones a futuro relacionados con creación o declaraciones de nuevos Snaspe, Ramsar y/o Sitios Prioritarios de Conservación para la Biodiversidad.

### 3.2.2 Derechos de agua para el medio ambiente: caudales ecológicos

El establecimiento de caudal ecológico mínimo es una forma de velar por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente. Dentro de la demanda legal, es decir, de los derechos de aprovechamiento de agua otorgados en la cuenca del río Lluta, en la Tabla 3.25 se muestran los que tienen un caudal ecológico asociado. Se destaca el caudal ecológico del embalse Chironta, en el que se exige dejar pasar aguas abajo de la presa un caudal de 450 l/s (ND-0101-80 y ND-1501-800018). En el caso del ND-0101-800000, el caudal promedio se trata de una quebrada, y el caudal ecológico corresponde al río Lluta en ese sector. En el caso del ND-0101-110 se refieren a los derechos no consuntivos eventuales y discontinuos para restituirse 20 km aguas abajo en un punto del sector Tocontasi.

**Tabla 3.25 Derechos de aprovechamiento de aguas otorgados en la cuenca del río Lluta con un caudal ecológico asociado.**

Código de Expediente	Nombre Solicitante	Tipo Derecho	Naturaleza del Agua	Clas. Fuente	Sub Cuenca	Fuente	Ejercicio del Derecho	Caudal Anual Prom	Unidad de Caudal	Caudal Ecológico (l/s)
ND-0102-303	JUAN TERRAZA CALLE Y OTROS	Consuntivo	Superficial y Corriente	Río/Estero	Río Lluta Alto	Río Achuncagua	Permanente y Continuo	24	l/s	2,7
ND-0101-75	ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE ARICA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Vertiente	Río Lluta Bajo	Vertiente sin Nombre	Permanente y Continuo	13	l/s	1,67
ND-0101-80	DIRECCION OBRAS HIDRAULICAS	Consuntivo	Superficial y Corriente	Río/Estero	Río Lluta Bajo	Río Lluta	Eventual y Continuo	996,73	l/s	450
ND-1501-800018	DIRECCION OBRAS HIDRAULICAS	Consuntivo	Superficial y Corriente	Río/Estero	Río Lluta Bajo	Río Lluta	Eventual y Continuo	80	Mm <sup>3</sup> /año	450
ND-0101-800000	QUIMICA INDUSTRIAL DEL BORAX LIMITADA.	Consuntivo	Superficial y Corriente	Río/Estero	Río Lluta Alto	Quebrada sin Nombre	Eventual y Continuo	30	l/s	433
ND-0102-347	HERNAN RODRIGO SAAVEDRA NENADOVICH	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Vertiente	Río Lluta Bajo	Vertiente sin Nombre	Permanente y Continuo	4	l/s	0,5
ND-0102-236	MARIANO MARIO HUAYLLA HUANCA	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Vertiente	Río Lluta Alto	Vertiente Cotapalca	Permanente y Continuo	10	l/s	1
ND-0101-79	ECONSSA S.A.	Consuntivo	Superficial y Corriente	Río/Estero	Río Lluta Bajo	Río Lluta	Eventual y Continuo	400	l/s	433
ND-0101-110	FISCO - DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Río/Estero	Río Lluta Bajo	Río Lluta	Eventual y Discontinuo	1.586,42	l/s	113,88
Total de caudales ecológicos en cuenca del río Lluta										<b>1.885,75</b>

Fuente: catastro de derechos de agua concedidos, consultado en abril 2020.

### 3.3 Demanda agrícola

La demanda agrícola es la de mayor importancia en esta cuenca. Y ésta se usa para el riego de los distintos cultivos de la cuenca como para la protección de diversas áreas de secano. A continuación, se presenta la información referente a la demanda hídrica para la actividad agrícola, tanto histórica como proyectada, y un análisis de la demanda agrícola a partir del modelo elaborado en este estudio.

#### 3.3.1 Caracterización general de la demanda agrícola

En este punto se presentan la demanda hídrica y en particular de riego, en la actualidad y proyectada a futuro.

##### **Demanda hídrica actual**

Para la cuenca del río Lluta, el estudio de la DGA (2017c), estimó la demanda hídrica del sector agrícola, representada tanto para la superficie en riego como en secano. Esta demanda corresponde únicamente a los requerimientos evapotranspirativos de los cultivos.

La estimación de la demanda hídrica agrícola actual (con año base en 2015) para la cuenca del río Lluta y sus respectivas subcuencas, arroja los resultados que se entregan en la Tabla 3.26, para la totalidad de la superficie agrícola. Los valores se indican en términos de volumen anual demandado ( $Mm^3/año$ ) y caudal medio anual ( $m^3/s$  y  $l/s$ ).

**Tabla 3.26 Estimación demanda hídrica Uso agrícola actual total en la cuenca del río Lluta (año base: 2015).**

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica agrícola actual (2015)		
		$Mm^3/año$	$m^3/s$	$l/s$
0120	Río Lluta Alto	521.863	16,548	16.548
0121	Río Lluta Bajo	9.831	0,312	312
<b>TOTAL CUENCA</b>				
012	Río Lluta	531.694	16,860	16.860

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

En la Tabla 3.27 se efectúa un desglose para las demandas hídricas anuales por subcuenca en secano, según grupos de cultivo: cultivos y forrajeras anuales, forrajeras permanentes, hortalizas, flores y semilleros, viñas y parronales, frutales, praderas mejoradas y naturales.

**Tabla 3.27 Estimación demanda hídrica uso agrícola actual de la superficie en seco por grupo de cultivo en la cuenca del río Lluta (año base: 2015).**

Código	Nombre	Cult.y forraj. anuales	Forraj. Perm.	Hortalizas, flores y semilleros	Viñas y parronales	Frutales	Prad. Mejo.	Praderas Naturales
		Mm <sup>3</sup> /año						
0120	Río Lluta Alto	1	5	0	0	0	1.933	516.641
0121	Río Lluta Bajo	0	1	0	0	0	28	4.131
<b>TOTAL CUENCA</b>								
012	Río Lluta	1	6	0	0	0	1.961	520.772

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

**Demanda de riego actual**

Para la cuenca del río Lluta, el estudio DGA (2017c) estimó la demanda de riego del sector agrícola. Esta demanda corresponde a los requerimientos evapotranspirativos de los cultivos bajo riego, incluyendo el aporte de precipitación y las eficiencias de los sistemas de riego. Los resultados de la estimación se presentan en la Tabla 3.28. Los valores se indican en términos de volumen anual demandado (Mm<sup>3</sup>/año) y caudal medio anual (m<sup>3</sup>/s y l/s).

**Tabla 3.28 Estimación demanda de riego en uso agrícola actual total para la cuenca del río Lluta (año base: 2015).**

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda riego actual (2015)		
		Mm <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup> /s	l/s
0120	Río Lluta Alto	8.973	0,285	285
0121	Río Lluta Bajo	9.585	0,304	304
<b>TOTAL CUENCA</b>				
012	Río Lluta	18.558	0,589	589

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

Efectuando un desglose para los grupos de cultivo: cultivos y forrajeras anuales, forrajeras permanentes, hortalizas, flores y semilleros, viñas y parronales y frutales, las demandas de riego anuales por subcuenca son las que se muestran en la Tabla 3.29.

**Tabla 3.29 Estimación demanda de riego en uso agrícola actual por grupo de cultivo en la cuenca del río Lluta (año base: 2015).**

Código	Nombre	Cultivos y forrajeras anuales	Forrajeras permanentes	Hortalizas, flores y semilleros	Viñas y parronales	Frutales
		Mm <sup>3</sup> /año				
0120	Río Lluta Alto	24	8.588	360	0	1
0121	Río Lluta Bajo	13	2.343	6.664	0	565
<b>TOTAL CUENCA</b>						
012	Río Lluta	37	10.931	7.024	0	566

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

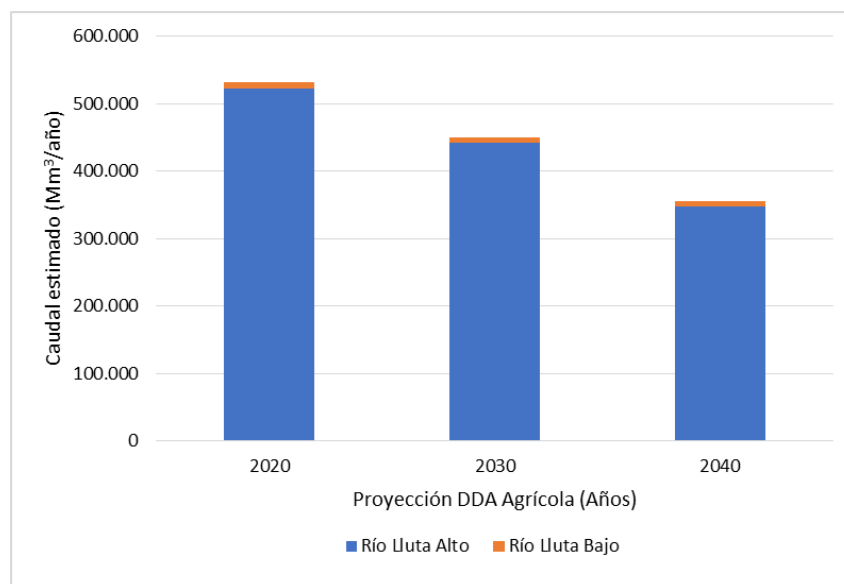
### **Demanda agrícola proyectada**

La estimación de la demanda hídrica para uso agrícola a futuro, hasta el año 2040, ha sido estimada en el estudio DGA (2017c), cuyas demandas agrícolas en la cuenca del río Lluta y sus respectivas subcuencas se entrega en la Tabla 3.30 y en la Figura 3.14. En el estudio de la DGA (2017c) no se explica la disminución de la demanda agrícola proyectada, sin embargo, en el mismo estudio se observa que en la mayoría de las cuencas de la XV Región también disminuiría la demanda agrícola, y que ésta podría deberse a que otras demandas hídricas pasen a ser más prioritarias que la demanda agrícola, como por ejemplo la demanda para agua potable urbana o rural. Se considera que las demandas estimadas en el año 2040, serán igualmente consideradas al año 2050, como una condición conservadora.

**Tabla 3.30 Proyección demanda hídrica Uso Agrícola futura total (año 2040) – Cuenca del río Lluta.**

Código	Zona	Unidades	Año		
			2020	2030	2040
0120	Subcuenca Río Lluta Alto	Mm <sup>3</sup> /año	522.902	442.119	347.716
0121	Subcuenca Río Lluta Bajo	Mm <sup>3</sup> /año	9.628	8.618	7.542
012 río Lluta	Cuenca Río Lluta	Mm <sup>3</sup> /año	532.530	450.737	355.258
		m <sup>3</sup> /s	16,886	14,293	11,265
		l/s	16.886	14.293	11.265

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

**Figura 3.14 Proyección demanda hídrica Uso Agrícola futura total (año 2040) – Cuenca del río Lluta.**

### 3.3.2 Zonas de riego modeladas

Para definir las zonas de riego modeladas se examinaron los usos de suelos, a partir de los datos de cobertura del suelo de LandCover (Zhao et al., 2016). En los sectores del valle de Lluta, Putre y Socoroma, la definición de sectores de cultivo ha pasado por un tratamiento más especializado que involucra antecedentes de mediciones en terreno y catastro de los cultivos desarrollados en estos sectores. Para mayor detalle al respecto ver el punto 5.1.3 y 5.1.5 del Anexo H de este estudio.

Existe en la cuenca una predominancia de suelos desnudos y matorrales áridos, que correspondería principalmente a las zonas de mayor elevación. En las llanuras aluviales del río y los afluentes principales existen condiciones de paisajes distintas (cultivos, pastizales, humedales) que evidentemente se ven favorecidas por una disponibilidad hídrica inmediata a partir de los ríos.

En el sector de Caracarani, el sector de bofedales (humedales) en conjunto con los pastizales constituye un paisaje especial donde conceptualmente se verían implicadas altas demandas por evapotranspiración, lo que es distinto a las condiciones de las zonas altas donde predominan los matorrales áridos y las tierras desnudas. Para sectores del Lluta Bajo, igualmente pueden sectorizarse paisajes, como es el caso de la presencia de cultivos y pastizales en las llanuras de inundación del valle del Lluta.

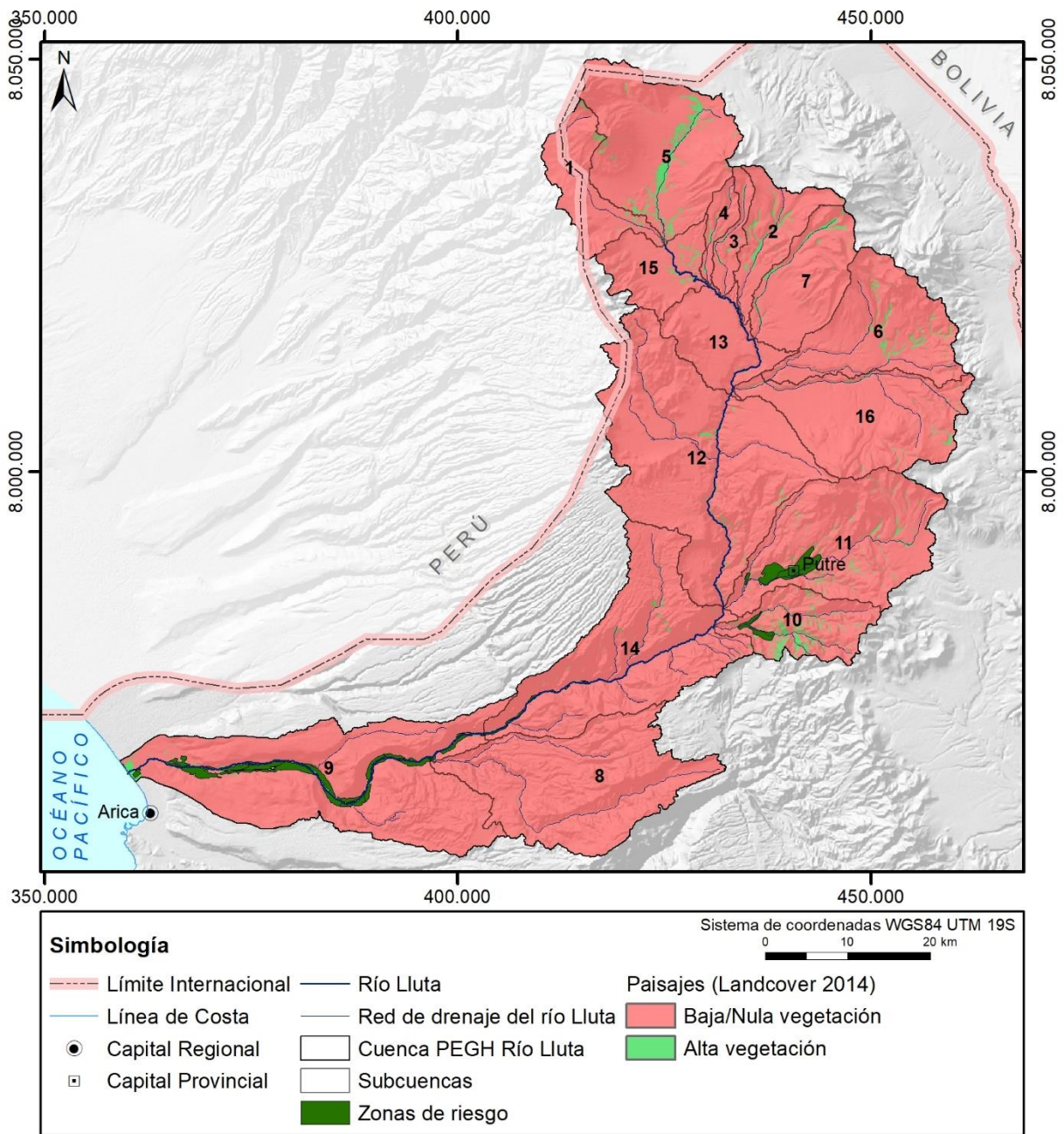
Los sectores de riego del valle de Lluta han sido incorporados como catchments en WEAP (ver sección 5.3.1.4 del Anexo H), debido a que esta herramienta permite tener en cuenta para el cálculo de la demanda la variación de las áreas cultivadas en el tiempo, así como la influencia de las temperaturas, y entrega además un valor de pérdidas hacia el sistema subterráneo. Para determinar las zonas de riego (para pastizales y hortalizas), se realizó una discretización que consideró:

- **Puntos de extracción:** Se consideran las extracciones desde bocatomas a partir de la recopilación de Comunidades de Agua del estudio de DGA (2016) donde se contabilizó un total de 62 comunidades que extraen agua directamente desde el río Lluta. La ubicación geográfica de estas extracciones se considera a partir del estudio "Mejoramiento Sistema de Gestión y Control Río Lluta" (INH-CORFO, 2013) donde se catastraron gran parte de las bocatomas. Sin embargo, no se han modelado las 62 extracciones, ya que las incertezas asociadas a esta modelación del riego no ameritan ese nivel de detalle. Por lo anterior, se agruparán según ubicación geográfica para obtener un número de zonas apropiado y manejable.
- **Ubicación de los canales de riego:** La ubicación de los canales de riego asociados a los puntos de extracción se definió a partir del catastro realizado en el estudio de INH-CORFO (INH-CORFO, 2013), donde se ubicó acabadamente a cada uno de ellos. Conocer la ubicación de los canales se hace necesario para ubicar zonas de recarga

hacia el modelo subterráneo MODFLOW, dadas por las deficiencias propias del riego no tecnificado que predomina en la zona de estudio.

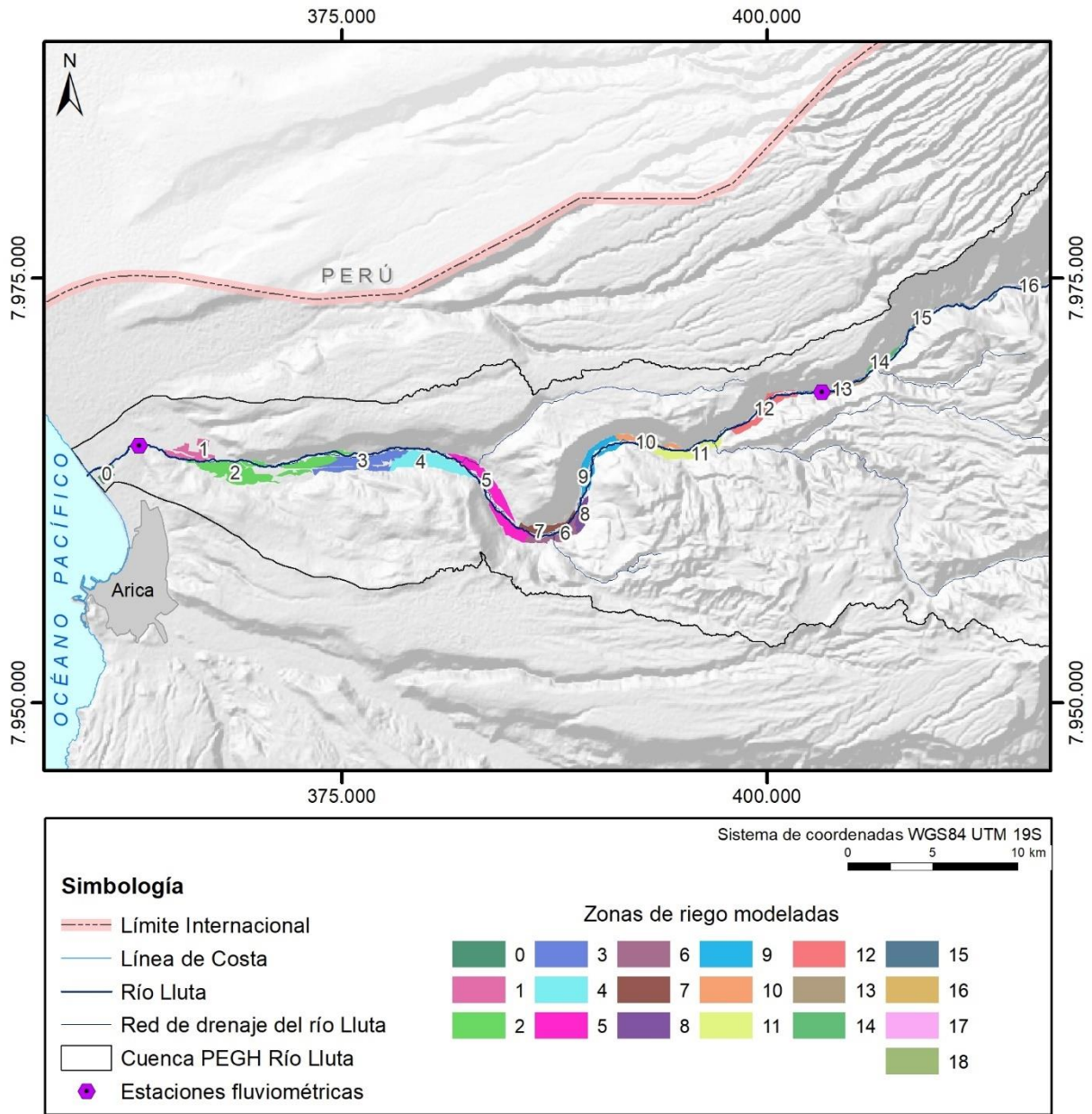
- **Superficie de riego:** cada zona de riego fue asociada a una fracción de la superficie agrícola total en el valle del Lluta. Esta fracción fue determinada proporcionalmente a los caudales de dotación determinados en el estudio de DGA (2016), lo que a la vez debiese ser consistente con la longitud de los canales.

A nivel de cuenca, las zonas de riego definidas, e incluidas en la modelación, se presentan en la Figura 3.15, y un detalle de la zona del sector del Valle del Lluta se muestra en Figura 3.16. Además, en la Tabla 3.31 se incluyen las comunidades de agua (CDA) y el área de riego asociado a cada sector para el año 2019 a modo referencial, destacando que este es un valor que cambia en el tiempo de acuerdo a lo identificado en los Censos Agropecuarios.



Fuente: elaborado a partir de Zhao et al. (2016).

**Figura 3.15 Subcuencas y zonas de riego modeladas. Se pone en contexto las coberturas de suelo, distinguiendo zonas con alta vegetación y zonas con baja/nula vegetación.**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 3.16 Ubicación zonas de riego modeladas. Las zonas de riego 17 y 18 corresponden a las zonas de Putre y Socoroma, respectivamente, y se encuentran por tanto fuera del área presentada.**

**Tabla 3.31 Resumen de las 19 zonas de riego (ZR) utilizadas en la modelación hidrológica con WEAP, con áreas para el año 2019.**

ZR	Grupo de CDA	Área 2019 (ha)	ZR	Grupo de CDA	Área 2019 (ha)
0	Santa Rosa - Beneficencia	98	10	Almonte - Vilca Loredo	18
1	Valle Hermoso	69	11	Bocanegra - Santa Inés	32
2	Sascapa	75	12	Molinos	140
3	Chacabuco	35	13	Chaquire - Tocontasi	69
4	El Muro	115	14	Zora	28
5	La Palma 1 y 2 - Visconti	74	15	Arancha - Challollapo	46
6	Poconchile	43	16	Vilacollo - Buena Vista	60
7	Purochile	45	17	Putre	114
8	Aguataya - La Isla	29	18	Socoroma	452
9	Vilca Chang - Santa Raquel	33			

Fuente: elaboración propia en base a Censos Agropecuarios.

### 3.3.3 Cultivos modelados

#### **Sectorización de las demandas de agua: superficies agrícolas en el sector Socoroma**

Para definir las áreas agrícolas en el sector de Socoroma se ha considerado como información primaria igualmente a los datos del VI Censo Nacional Agropecuario (INE, 1997) y del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal (INE, 2007), específicamente para el distrito censal del mismo nombre (Socoroma), cuyo resumen de datos se presenta en la Figura 5.11 del Anexo H. Es importante aclarar que este distrito censal no se ubica completamente dentro de la cuenca del río Lluta, por lo que las áreas totales terminarán siendo una fracción de lo que a continuación se enuncia.

La superficie cubierta por forrajeras permanentes corresponde un 100% a alfalfa. En el censo agropecuario de 1997 estas superficies habrían cubierto 93 ha, área que según el censo del año 2007 habría descendido a 28 ha, lo que es una importante baja igual que en el caso del valle.

La superficie cubierta por hortalizas, presenta una variedad acotada de cultivos desarrollados. En este caso, las superficies cultivadas han descendido desde 58 ha a 48 ha entre 1997 y 2007. En la Figura 5.12 del Anexo H se muestra la proporción cultivos desarrollados para el año 1997 y 2007, donde un aspecto importante a destacar es que en los diez años los agricultores pasaron de cultivar prácticamente un solo tipo de hortaliza, el orégano; a considerar nuevas variedades como la arveja verde, la lechuga, el poroto verde, las habas, el choclo y varias otras hortalizas. En la Figura 5.11 del Anexo H, dentro del ítem "Otros usos agrícolas" hay que señalar que tanto en el censo del año 2007 así como en el de 1997 se catastraron también superficies de papas con superficies menores a 10 ha.

La modelación del sector agrícola de Socoroma, al ser un sector relativamente menor, se ha implementado como una única zona riego donde estén incluidos todos los cultivos presentados. En este caso la modelación como zona de riego igual ha sido representada a través del método MABIA-Dual-Kc, donde el suministro hídrico se determina tanto por la precipitación, así como las extracciones desde la quebrada Socoroma.

### **Sectorización de las demandas de agua: superficies agrícolas en el sector Putre**

Para definir las áreas agrícolas en el sector de Putre se ha considerado como información primaria igualmente a los datos del VI Censo Nacional Agropecuario (INE, 1997) y del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal (INE, 2007), específicamente para el distrito censal Putre (nótese que no se hace referencia a la comuna entera de Putre), cuyo resumen de datos se presenta en la Figura 5.13 del Anexo H.

Antes de discutir los datos, es importante destacar que, para el caso del distrito censal Putre, en el censo del 2007 no fue posible concordar la superficie de riego total de 694 ha, con la suma de todas las áreas agrícolas regadas, pues esta suma solamente alcanza las 445 ha. En vista de lo anterior, se determina que la superficie de riego total solamente alcanza las 445 ha.

La superficie cubierta por forrajeras permanentes corresponde un 100% a alfalfa. En el censo agropecuario de 1997 estas superficies habrían cubierto 465 ha, área que según el censo del año 2007 se habría sostenido, con 439 ha. Por otra parte, no existe un desarrollo a gran escala de cultivos de hortalizas, pues las superficies catastradas en 1997 y 2007 no superan las 10 ha. En el censo del año 1997 la hortaliza predominante era el orégano, para luego dar paso a una predominancia de cultivos de tomates en el año 2007.

La modelación del sector agrícola de Putre, al ser un sector relativamente menor, se ha considerado implementar como una única zona riego donde estén incluidos todos los cultivos presentados. En este caso la modelación como zona de riego igual ha sido representada a través del método MABIA-Dual-Kc, donde el suministro hídrico se determinará tanto por la precipitación, así como las extracciones desde la quebrada Jurase.

### **Sectorización de las demandas de agua: superficies agrícolas en el sector Valle**

La superficie cubierta por forrajeras permanentes corresponde un 100% a alfalfa, variedad que ha sido desarrollada durante décadas dada la condición ganadera del valle (CNR, 2018), las que el año 2018 tendrían una superficie de 100,41 ha, con una tendencia a la baja desde 1997.

En cuanto a la superficie cubierta por hortalizas, se tiene una variedad acotada de cultivos desarrollados, restricciones dadas por la alta salinidad del río Lluta. Los datos del catastro más reciente de CNR (2018), indican entre 2016 y 2017 la superficie de cebolla de 333 ha, con tendencia ascendente desde 1997, y los cultivos de maíz habrían descendido desde 1997 hasta las 363 ha. Otras hortalizas, como coliflor, habas y tomates, parecen haberse mantenido estancados entre los censos de 1997 y 2007.

Otra información disponible es lo enunciado en el "Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Embalse Chironta", cuyo titular fue la DOH (2012). En este se incluye el ciclo anual de las superficies de riego para los cultivos más relevantes. Sin embargo, estos ciclos resultan ser más representativos de épocas anteriores, por lo que habría que adecuar y proyectar estas variaciones cíclicas anuales a una situación que se condiga con los datos recopilados en los otros estudios.

### **3.3.4 Valores de kc y evapotranspiración neta de cultivos**

Los coeficientes de cultivo se tomaron a partir de los esquemas presentes en la librería de MABIA, para los cultivos que predominan en cada zona de riego a definir, los que esencialmente corresponderán a maíz, alfalfa, cebolla, betarraga, ajos, coliflor, habas y tomates.

### **3.3.5 Ineficiencia de métodos de riego y canales**

Las eficiencias de riego se han considerado a partir del catastro realizado en el estudio de INH-CORFO (2013), donde se indican los estados de los canales y las condiciones de construcción (tierra, concreto, rev. loseta). Los valores numéricos que predominen en las zonas de riego se han derivado de las recomendaciones de la FAO<sup>15</sup> y documentadas en la aplicación del método MABIA-Dual-Kc en WEAP (Jabloun & Sahli, 2012).

### **3.3.6 Derechos de agua para la agricultura**

El registro de los derechos de agua de las Comunidades de Agua en la cuenca del río Lluta permite tener una estimación de la demanda legal asociada a la agricultura. En las secciones 5.1.4.2.1 y 5.1.4.2.2 del Anexo H se incluyen los derechos de aprovechamiento de las comunidades en el Valle de Lluta Bajo y el Sector Costero, y en los sectores de Putre y Socoroma, respectivamente, de acuerdo a los antecedentes presentados por (DGA, 2016).

## **3.4 Demanda minera**

El agua se usa en la mayoría de los procesos mineros, desde consumos mínimos para abastecimiento humano del personal hasta para el abastecimiento de los procesos extracciones del mineral.

### **3.4.1 Demanda hídrica para uso minero**

El agua es necesaria para la producción minera metálica como no metálica, cuyo recurso sirve en la mayoría de los procesos de obtención, como para molienda y concentrado. En

---

<sup>15</sup> Eficiencias de riego – FAO [en línea] <http://www.fao.org/3/t7202e/t7202e08.htm> (visitado por última vez el 24/05/2021)

la cuenca del río Lluta, el estudio DGA (2017c), estimó la demanda hídrica ejercida por las principales faenas mineras identificadas, de tipo consuntiva, pertenecientes a la minería no metálica, específicamente a la producción de compuestos de boro (Quiborax S.A.). Adicionalmente, la minera de oro peruana Pucamarca extrae 20 l/s desde el río Azufre, cuando éste pasa por territorio peruano.

La estimación de la demanda minera actual (con año base en 2015) para las subcuencas de la región, arroja los resultados que se entregan en la Tabla 3.32. Los valores se indican en términos de caudal medio anual (en m<sup>3</sup>/s y l/s) y volumen anual demandado (Mm<sup>3</sup>/año).

**Tabla 3.32 Estimación demanda hídrica uso minero actual para la cuenca del río Lluta (año base: 2015).**

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica minera no metálica actual (2015)		
		Mm <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup> /s	l/s
0120	Río Lluta Alto	0	0	0
0121	Río Lluta Bajo	159,298	0,0051	5,1
<b>TOTAL CUENCA</b>				
012	Río Lluta	159,298	0,0051	5,1

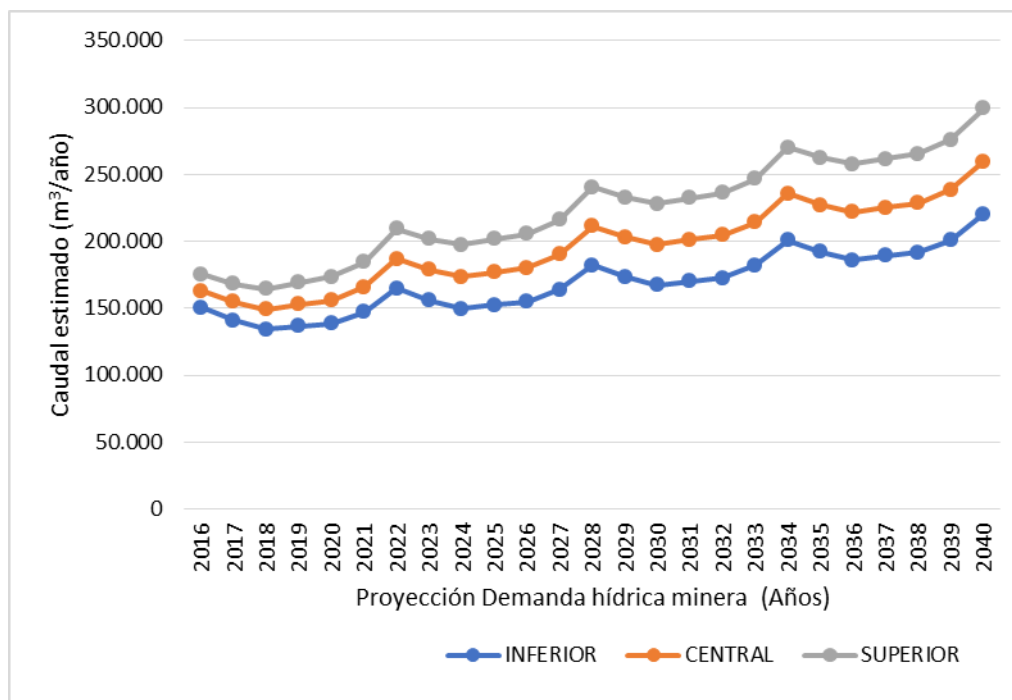
Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

La estimación a futuro, hasta el año 2040 de demanda hídrica para uso minero en la cuenca del río Lluta y sus respectivas subcuencas se entrega en la Tabla 3.33 y en la Figura 3.17. Se considera que las demandas estimadas en el año 2040, serán igualmente consideradas al año 2050, como una condición conservadora.

**Tabla 3.33 Proyección demanda hídrica minera anual (consuntiva, m<sup>3</sup>/año) – Período 2016- 2040 – Subcuenca río Lluta bajo – Valor Inferior, Central y Superior, N.C. 70%.**

Año	Estimación subcuenca río Lluta Bajo (m <sup>3</sup> /año)			Año	Estimación subcuenca río Lluta Bajo (m <sup>3</sup> /año)		
	Inferior	Central	Superior		Inferior	Central	Superior
2015				2028	182.313	211.330	240.346
2016	150.648	162.918	175.188	2029	173.343	203.034	232.725
2017	140.899	154.622	168.346	2030	167.214	197.568	227.922
2018	134.114	149.156	164.199	2031	170.228	201.232	232.237
2019	136.561	152.820	169.080	2032	172.781	204.426	236.070
2020	138.618	156.014	173.409	2033	181.984	214.258	246.532
2021	147.380	165.846	184.312	2034	200.933	235.536	270.138
2022	164.919	187.124	209.329	2035	192.057	227.240	262.423
2023	155.768	178.828	201.888	2036	186.017	221.774	257.531
2024	149.475	173.362	197.249	2037	189.114	225.438	261.762
2025	152.336	177.026	201.717	2038	191.747	228.632	265.516
2026	154.749	180.220	205.691	2039	201.026	238.464	275.902
2027	163.821	190.052	216.283	2040	220.255	259.742	299.228

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c)

**Figura 3.17 Proyección demanda hídrica minera anual (consuntiva, m<sup>3</sup>/año) – Período 2016- 2040 – Subcuenca río Lluta bajo – Valor Inferior, Central y Superior, N.C. 70%**

### 3.4.2 Derechos de agua para minería

La estimación de la demanda legal minera se realizó en base al catastro de derechos de agua concedidos, consultado en abril del año 2020, los dos derechos de aprovechamiento de agua concedidos para uso minero, son de la empresa QUIBORAX S.A., el cual es de 24 l/s y de tipo consuntivo, naturaleza subterránea y ejercicio permanente y continuo y provisional; y la compañía minera Espada Hnos., la que se dedicó a la industria azufrera en el sector de Tacora y que contó con instalaciones en Villa Industrial y en Aguas Calientes, a principios del siglo XX, cuyo derecho es de 0,29 l/s, de tipo no consuntivo, naturaleza superficial y corriente (vertiente), y ejercicio permanente y continuo.

## 3.5 Demanda industrial

El agua se usa en la mayoría de los procesos industriales, desde consumos mínimos para abastecimiento humano del personal hasta para el abastecimiento de los procesos de fabricación.

### 3.5.1 Demanda hídrica para uso industrial

Según el estudio DGA (2017c), en la cuenca del río Lluta al año 2015 no existe demanda hídrica para uso industrial actual ni futura.

Sin embargo, dentro de la cuenca del río Lluta se tienen derechos de aprovechamiento que indican un uso industrial del agua. Entre ellos se cuenta una constructora, una embotelladora y algunos usuarios menores.

### 3.5.2 Derechos de agua para la industria

La estimación de la demanda legal industrial se realizó en base al catastro de derechos de aprovechamiento de agua otorgados en la cuenca del río Lluta, consultado en abril del año 2020, en el que se indican 2 derechos clasificados con uso industrial, los que se indican en la Tabla 3.34.

**Tabla 3.34 Derechos de aprovechamiento de agua para uso industrial en la cuenca del río Lluta.**

Cód. Exp	Nombre Solicitante	Tipo Derecho	Naturaleza	Clasificación Fuente	Fuente	Ejercicio del Derecho	Q Anual Prom (l/s)
ND-1501-35	CONSTRUCTORA AGUAS CLARAS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	Lluta bajo	Perm. y Cont. y Provisionales	0,08
UA-0101-800204	EMBOTELLADORA ARICA S.A.I.C.	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	-	Permanente y Continuo	1,5

Fuente: Catastro público de DAA, consultado en abril de 2020.

## 3.6 Otras Demandas

A continuación, se presenta la información referida a las demandas hídricas para otros tipos de uso, no considerados en las categorías anteriores.

### 3.6.1 Demanda para uso pecuario

El consumo de agua para uso pecuario es para saciar la sed de los animales. El estudio DGA (2017c) estimó para la cuenca del río Lluta la demanda hídrica (consuntiva) del sector pecuario, representada por las producciones bovina, ovina, caprina, avícola y porcina, entre otras. Estos valores se entregan en la Tabla 3.35. Los valores se indican en términos de volumen anual demandado ( $Mm^3/año$ ) y caudal medio anual ( $m^3/s$  y  $l/s$ ).

**Tabla 3.35 Estimación demanda hídrica uso pecuario actual en la cuenca del río Lluta (año base: 2015).**

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica pecuaria actual (2015)		
		$Mm^3/año$	$m^3/s$ (*)	$l/s$
0120	Río Lluta Alto	19,52	0,001	0,62
0121	Río Lluta Bajo	16,37	0,001	0,52
<b>TOTAL CUENCA</b>				
012	Río Lluta	35,89	0,001	1,14

\*: No coincide la suma, porque los decimales no dan:  $0,00062 m^3/s + 0,00052 m^3/s = 0,0011 l/s$

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

Efectuando un desglose por tipo de ganadería: bovina, ovina, caprina, producción avícola, porcina, equina, camélidos y otros, las demandas hídricas anuales por subcuenca son las

que se muestran en la Tabla 3.36. Y cuya demanda proyectada se presenta en la Tabla 3.37 y en la Figura 3.18.

**Tabla 3.36 Estimación demanda hídrica uso pecuario actual por tipo de ganadería en la cuenca del río Lluta (año base: 2015).**

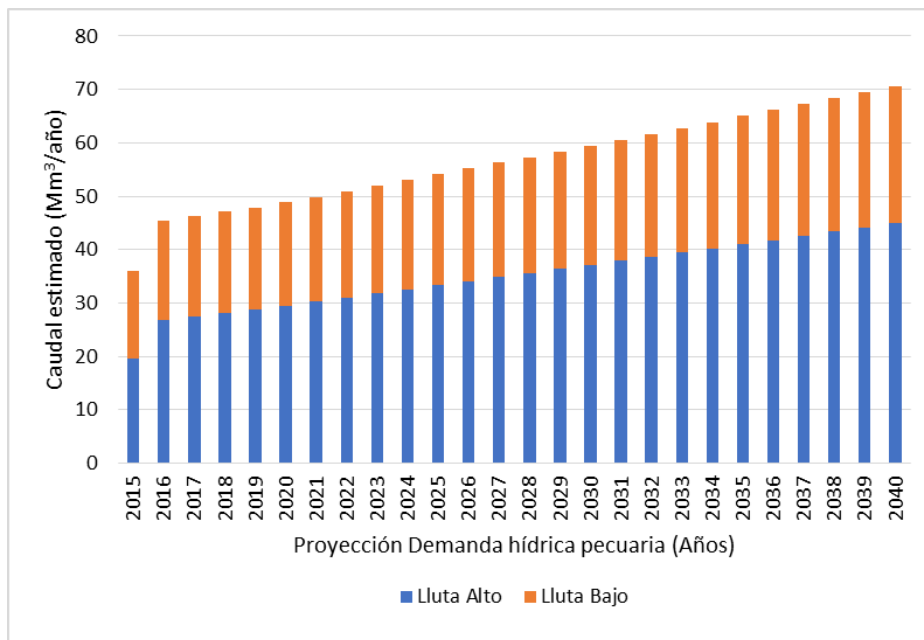
Código	Nombre	Bovino	Ovino	Caprino	Avícola	Porcino	Equino	Camélido	Otros
		Mm <sup>3</sup> /año							
0120	Río Lluta Alto	2,07	2,55	0,00	0,00	0,18	1,12	13,6	0,00
0121	Río Lluta Bajo	0,86	1,16	0,32	6,19	6,02	1,57	0,14	0,11
<b>TOTAL CUENCA</b>									
012	Río Lluta	2,93	3,71	0,32	6,19	6,20	2,69	13,74	0,11

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

**Tabla 3.37 Proyección demanda hídrica para uso pecuario anual (Mm<sup>3</sup>/año) – Período 2016-2040 – Subcuenas del río Lluta.**

Año	Subcuenca		Total Cuenca Mm <sup>3</sup> /año	Año	Subcuenca		Total Cuenca Mm <sup>3</sup> /año
	Lluta Alto Mm <sup>3</sup> /año	Lluta Bajo Mm <sup>3</sup> /año			Lluta Alto Mm <sup>3</sup> /año	Lluta Bajo Mm <sup>3</sup> /año	
2015	19,52	16,37	35,89	2028	35,57	21,75	57,32
2016	26,9	18,4	45,3	2029	36,33	22,05	58,38
2017	27,55	18,63	46,17	2030	37,09	22,36	59,45
2018	28,19	18,86	47,05	2031	37,87	22,69	60,56
2019	28,84	19,08	47,93	2032	38,65	23,02	61,67
2020	29,49	19,31	48,8	2033	39,43	23,35	62,78
2021	30,25	19,62	49,87	2034	40,21	23,68	63,9
2022	31,01	19,92	50,93	2035	40,99	24,01	65,01
2023	31,77	20,23	52	2036	41,77	24,35	66,12
2024	32,53	20,53	53,06	2037	42,56	24,68	67,23
2025	33,29	20,84	54,12	2038	43,34	25,01	68,35
2026	34,05	21,14	55,19	2039	44,12	25,34	69,46
2027	34,81	21,44	56,25	2040	44,9	25,67	70,57

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c)



Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

**Figura 3.18 Proyección demanda hídrica para uso pecuario anual (Mm³/año) – Período 2016-2040 – Subcuencas del río Lluta.**

### 3.6.2 Demanda para uso forestal

El uso del agua para uso forestal se da en el riego de árboles forestales productivos y no productivos. La demanda actual (con año base en 2015) para el uso no productivo forestal para la cuenca del río Lluta y sus respectivas subcuencas se presenta en la Tabla 3.38, en términos de caudales medios anuales (m³/s y l/s) y volumen anual demandado (Mm³/año). En el estudio DGA (2017c) se efectúa un desglose según el enfoque metodológico, en uso productivo correspondientes a plantaciones forestales y por otro lado el uso no productivo correspondiente a bosque nativo y otras coberturas vegetales. Sin embargo, en la cuenca del río Lluta toda la demanda hídrica para uso forestal corresponde a uso no productivo.

**Tabla 3.38 Estimación demanda hídrica uso forestal actual para la cuenca del río de Lluta (año base: 2015).**

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica forestal actual para uso NO productivo (2015)		
		Mm³/año	m³/s	l/s
0120	Río Lluta Alto	54.607	1,73	1.732
0121	Río Lluta Bajo	13.602	0,43	431
<b>TOTAL CUENCA</b>				
012	Río Lluta	68.209	2,16	2.163

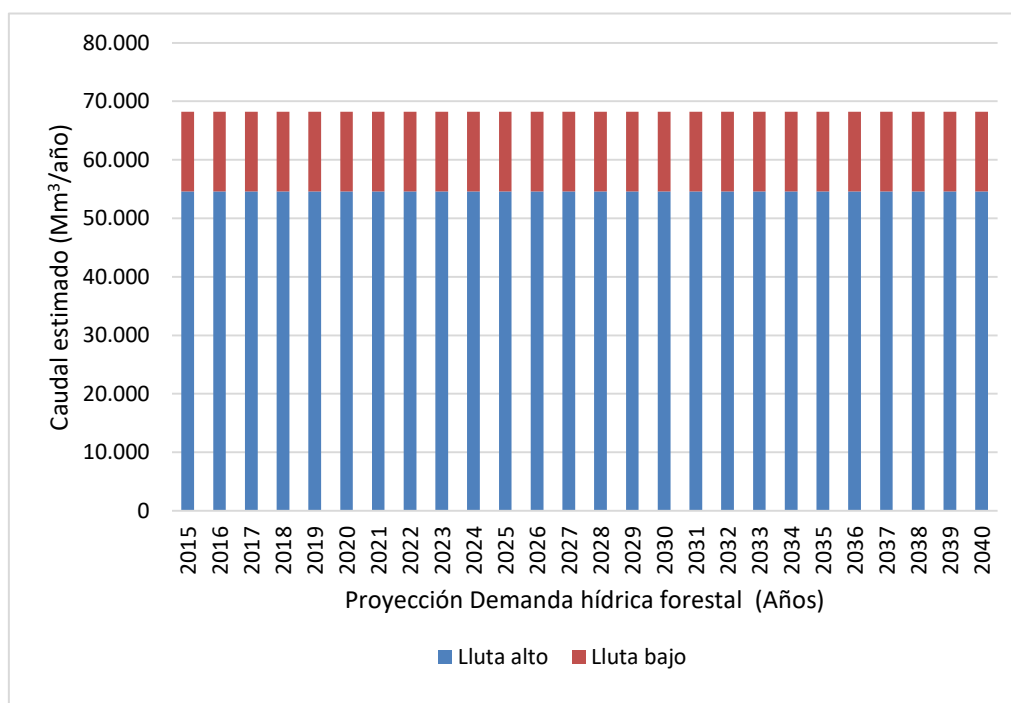
Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).

Así mismo en la Tabla 3.39 y en la Figura 3.19 se presenta la demanda hídrica forestal proyectada.

**Tabla 3.39 Proyección demanda hídrica para uso forestal anual (Mm<sup>3</sup>/año) – Período 2016-2040 – Subcuencas del río Lluta.**

Año	Subcuenca		Total Cuenca Mm <sup>3</sup> /año	Año	Subcuenca		Total Cuenca Mm <sup>3</sup> /año
	Lluta Alto Mm <sup>3</sup> /año	Lluta Bajo Mm <sup>3</sup> /año			Lluta Alto Mm <sup>3</sup> /año	Lluta Bajo Mm <sup>3</sup> /año	
2015	54.606,9	13.602,4	68.209,3	2028	54.615,9	13.602,4	68.218,4
2016	54.608,5	13.602,4	68.210,9	2029	54.616,1	13.602,4	68.218,6
2017	54.609,8	13.602,4	68.212,3	2030	54.616,3	13.602,4	68.218,7
2018	54.610,9	13.602,4	68.213,4	2031	54.616,4	13.602,4	68.218,8
2019	54.611,9	13.602,4	68.214,3	2032	54.616,5	13.602,4	68.218,9
2020	54.612,7	13.602,4	68.215,2	2033	54.616,6	13.602,4	68.219,0
2021	54.613,4	13.602,4	68.215,8	2034	54.616,6	13.602,4	68.219,1
2022	54.614,0	13.602,4	68.216,4	2035	54.616,7	13.602,4	68.219,2
2023	54.614,4	13.602,4	68.216,9	2036	54.616,8	13.602,4	68.219,2
2024	54.614,9	13.602,4	68.217,3	2037	54.616,8	13.602,4	68.219,2
2025	54.615,2	13.602,4	68.217,6	2038	54.616,8	13.602,4	68.219,3
2026	54.615,5	13.602,4	68.217,9	2039	54.616,9	13.602,4	68.219,3
2027	54.615,7	13.602,4	68.218,2	2040	54.616,9	13.602,4	68.219,3

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c)

**Figura 3.19 Proyección demanda hídrica para uso forestal anual (Mm<sup>3</sup>/año) – Período 2016-2040 – Subcuencas del río Lluta.**

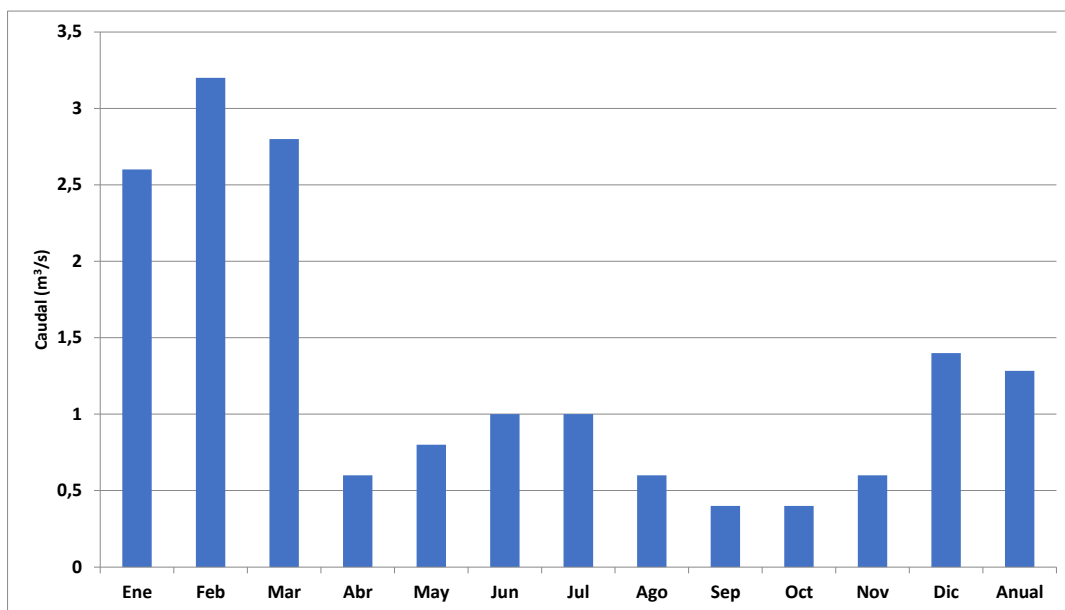
### 3.6.3 Demanda hídrica para uso turístico

El recurso hídrico para uso turístico es necesario para mantener las Zonas de Interés Turístico (ZOIT), tanto en términos ambientales como para distracción. El estudio DGA (2017c) estima un caudal turístico para la cuenca del río Lluta, cuyos valores se incluyen en la Tabla 3.40 y se muestran en la Figura 3.20.

**Tabla 3.40 Caudales turísticos ( $m^3/s$ ).**

Código	Cuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
012	Río Lluta	2,6	3,2	2,8	0,6	0,8	1,0	1,0	0,6	0,4	0,4	0,6	1,4

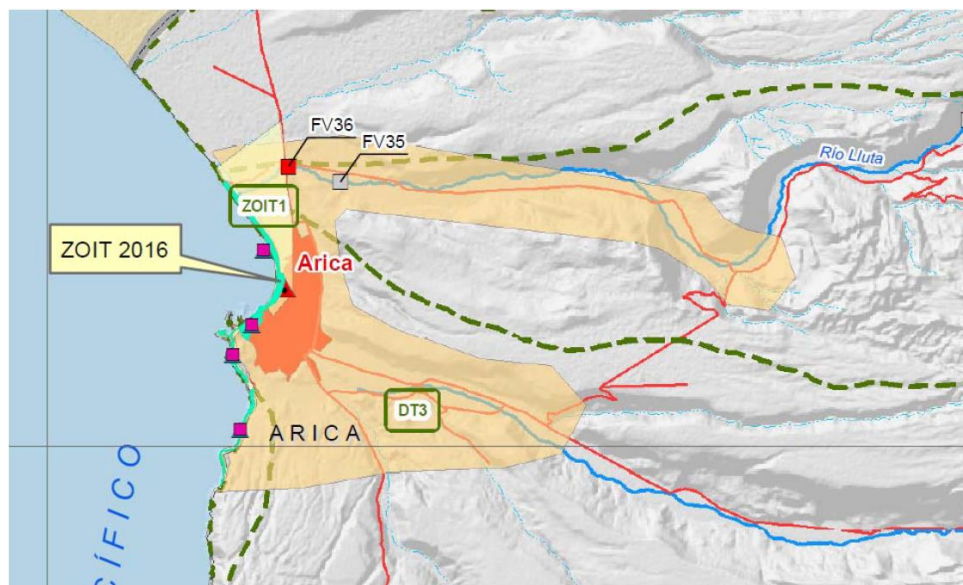
Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA (2017c).



Fuente: extraído de DGA (2017c).

**Figura 3.20 Caudal turístico cuenca del río Lluta.**

La demanda hídrica futura relacionado con el turismo, está asociado a "caudales de reserva", según información de futuras ZOIT que están declarados como admisibles en esta región. En la siguiente figura se muestra el ZOIT declarado como admisible (SERNATUR, 2016).



Fuente: extraído de DGA (2017c)

**Figura 3.21 ZOIT declarado como admisible en la XV Región.**

En la Figura 3.21 se observa que la zona abarca sólo la playa en el tramo que va desde la desembocadura del río Lluta por el Norte hasta un poco más al Sur de Arica. Las características de la zona hacen que no tenga asociada un caudal de reserva, debido a que el río Lluta no influye en el normal desarrollo de las actividades turísticas a desarrollarse en la playa de Arica.

#### 3.6.4 Otras demandas hídricas

El uso del agua para actividades acuícolas se da para mantener el recurso hídrico almacenado o corriendo para la generación de peces de consumo humano. Según el estudio DGA (2017c), en la XV Región de Arica y Parinacota no existe demanda actual ni proyecciones de demanda futura de agua relacionada con la producción acuícola, consecuentemente, tampoco en la cuenca del río Lluta. Sin embargo, existe un derecho de agua en la subcuenca del río Lluta Alto para piscicultura de 10 l/s, de tipo no consuntivo, naturaleza superficial y corriente y ejercicio permanente y continuo.

El uso del agua para generar hidroelectricidad se desarrolla pasando el agua por una turbina, la que esta última genera la electricidad. Según el estudio DGA (2017c), en la cuenca del río Lluta no existe demanda actual ni futura de agua relacionada con la generación de energía eléctrica.

### 3.7 Síntesis de demanda

En la Tabla 3.41 se presenta una síntesis de la demanda hídrica de la cuenca del río Lluta actual, tanto por subcuenca como por tipos de uso, mientras que en la Figura 3.22 se grafica el porcentaje de dichos sectores sobre el total del consumo de agua en la cuenca.

Así mismo, en la Tabla 3.42 se presenta la misma demanda actual pero distribuida mensualmente.

**Tabla 3.41 Síntesis de demanda actual (2015) de la cuenca del río Lluta**

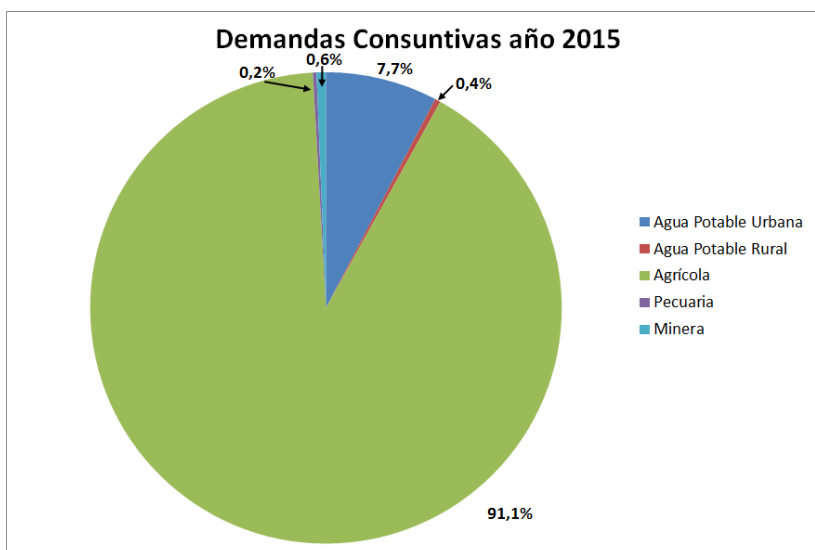
Cód. subc	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica consuntiva 2015 (l/s)						
		Agua Potable Urbana	Agua Potable Rural	Agrícola	Pecuaría	Minera	Industrial	TOTAL
120	Río Lluta Alto	0	3,7	1.285	0,27	0	0	<b>1.289</b>
121	Río Lluta Bajo	180	5,3	851	5,37	15,1	0	<b>1.057</b>
<b>TOTAL CUENCA</b>								
12	Río Lluta	180	9,0	2.136	5,64	15,1	0	<b>2.346</b>

Fuente: DGA (2016)

**Tabla 3.42 Síntesis de demanda actual (2015) según usos en la cuenca del río Lluta**

Uso	Meses (l/s)												Total m <sup>3</sup> /año	
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.		
Pecuario	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	177.861
Agrícola	2.556	1.661	1.432	1.590	1.414	1.417	1.572	1.812	2.374	3.055	3.292	3.418	67.368.590	
Agua Potable	189,1	189,1	189,1	189,1	189,1	189,1	189,1	189,1	189,1	189,1	189,1	189,1	5.962.111	
Industrial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Minero	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	476.194	
Total	2.766	1.871	1.641	1.800	1.624	1.627	1.782	2.022	2.584	3.264	3.501	3.628	73.984.756	

Fuente: DGA (2016).



Fuente: DGA (2016)

**Figura 3.22 Distribución de las demandas consuntivas (año 2015) – Cuenca del río Lluta**

En la Tabla 3.43 se presenta un resumen de los valores de demandas consuntivas y no consuntivas por sector económico tanto para el presente como para los años 2030 y 2050. Las demandas estimadas por DGA (2016) se han considerado como las presentes, es decir, para el año 2020. Y dado que no se cuentan con estimaciones de demandas proyectadas al año 2050, se ha considerado como una condición conservadora (más desfavorable) que las demandas estimadas en el año 2040 (DGA, 2017c) sean iguales al año 2050.

**Tabla 3.43 Resumen de demandas de la cuenca del río Lluta**

Sector	Año 2020		Año 2030		Año 2050	
	(m <sup>3</sup> /año)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /año)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /año)	(m <sup>3</sup> /s)
Agua potable urbana	5.676.480	0,180	7.221.744	0,229	7.978.608	0,253
Agua potable rural	285.631	0,009	419.429	0,013	419.429	0,013
Agrícola	67.368.590	2,136	67.368.590	2,136	67.368.590	2,136
Pecuario	177.861	0,006	177.861	0,006	177.861	0,006
Minería	476.194	0,015	715.867	0,023	715.867	0,023

Fuente: DGA (2016).

### 3.8 Monitoreo de extracciones efectivas (MEE)

En la cuenca del río Lluta existe poca información del Monitoreo de Extracciones Efectivas (MEE), cuya información levantada desde la web de la DGA se muestra en la Tabla 3.44, la que es subida a la web de la DGA por los titulares de los derechos de aprovechamiento de aguas. Sin embargo, la Tabla 3.44 presenta el MEE de sólo cuatro obras o usuarios, la cual es relativamente reciente. De la información de las cuatro obras, todas presentan un volumen usado menor al derecho de aprovechamiento, a excepción de una obra la que pareciera que es un problema de unidades.

Por otra parte, a pesar de los esfuerzos de reducir la incertidumbre respecto a las extracciones efectivas, existen importantes vacíos de información respecto a la explotación de agua subterránea en el valle. Respecto al mayor usuario de agua subterránea por lejos en el valle, Aguas del Altiplano, no se dispone más que de aproximaciones para el periodo 2001 a 2014. Una extracción mayor a la estimada para este usuario implicaría una nueva dinámica de flujo subterráneo, la que se vería representada en una nueva calibración de parámetros hidráulicos del acuífero.

**Tabla 3.44 Monitoreo de extracciones efectivas de agua subterránea del SHAC de Lluta Bajo**

Código Obra	Coordenadas UTM		Nombre del Titular	Fecha registro Obra	Derecho de Aprovechamiento			Monitoreo de Extracciones Efectivas				
	Norte	Este			Registro	Caudal mensual (l/s)	Volumen anual (m <sup>3</sup> /año)	Fecha Inicio	Fecha Fin	Caudal medio (l/s)	Vol. medio (m <sup>3</sup> /año)	% Volumen Usado
OB-1501-10	7.965.724	396.666	Quiborax S.A.	16/09/2019	ARICA/107/127/1999	2	63.072	03-01-19	05-05-21	0,13	4.753	8%
OB-1501-3	7.965.235	396.573	Quiborax S.A.	23/08/2019	5023-2012	13	409.968	03-01-19	05-05-21	11	300.465	73%
OB-1501-44	7.964.433	368.155	Aguas del Altiplano	07/07/2020	ARICA/87/102/1999	17	536.112	-	-	-	-	-
OB-1501-45	7.964.043	369.785	Aguas del Altiplano	07/07/2020	ARICA/87/102/1999	20	630.720	-	-	-	-	-
OB-1501-46	7.963.723	371.765	Aguas del Altiplano	07/07/2020	ARICA/74/83/1999 1877-2006	23	725.328	-	-	-	-	-
OB-1501-47	7.963.773	373.275	Aguas del Altiplano	07/07/2020	1872-2006	20	630.720	-	-	-	-	-
OB-1501-48	7.963.603	373.255	Aguas del Altiplano	07/07/2020	Resolución DGA/08/13-05-2013	36,5	1.151.064	-	-	-	-	-
OB-1501-7	7.965.361	363.838	Alimentos Finos Rila-Chile Ltda.	02/09/2019	Resolución DGA/7047255/27-03-2013	624	6.372	10-05-19	29-04-21	3,67	8.071	127%
OB-1501-71	7.965.274	396.423	Quiborax S.A.	26/10/2020	207-2019	24	756.864	04-09-20	05-05-21	2,3	47.691	6%
OB-1501-92	7.963.743	373.004	Aguas del Altiplano	23/03/2021	Resolución DGA/6/06-05-2020	41	1.292.976	-	-	-	-	-
OB-1501-93	7.964.187	374.427	Aguas del Altiplano	23/03/2021	Resolución DGA/6/06-05-2020	22	693.792	-	-	-	-	-
OB-1501-94	7.963.813	373.905	Aguas del Altiplano	23/03/2021	ARICA/74/83/1999	74	2.333.664	-	-	-	-	-
OB-1501-95	7.963.817	373.686	Aguas del Altiplano	23/03/2021	ARICA/87/102/1999 ARICA/74/83/1999 ARICA/86/99/1999	54	1.702.944	-	-	-	-	-
OB-1501-96	7.963.873	374.675	Aguas del Altiplano	23/03/2021	Resolución DGA/45/07-02-1999	28	883.008	-	-	-	-	-
OB-1501-97	7.963.933	376.515	Aguas del Altiplano	23/03/2021	1872-2006	13	409.968	-	-	-	-	-
OB-1501-98	7.964.043	377.915	Aguas del Altiplano	23/03/2021	ARICA/86/99/1999 1872-2006	10	315.360	-	-	-	-	-
OB-1501-99	7.963.233	383.305	Aguas del Altiplano	23/03/2021	1877-2006	20	630.720	-	-	-	-	-

Fuente: Información MEE – DGA.

## 3.9 Mercado de aguas

El mercado de agua debiera mostrar la interacción entre compradores y vendedores (transacciones) y un precio determinado que se da en la transacción. Los estudios de DGA (2016) y CNR (2016) presentan antecedentes respecto al Mercado de Aguas en las cuencas de la región de Arica y Parinacota. El primero lo hace en base al precio y cantidad de transacciones indicadas en el Conservador de Bienes Raíces (CBR) y el segundo en base al número de transacciones registradas en el CPA de la DGA.

### 3.9.1 Evolución histórica

Los datos recopilados del CBR de Arica en el estudio DGA (2016) han servido como base para este análisis. En ella se recogen los datos de transacciones de derechos desde el año 1988 hasta el 2016, considerando sólo las compraventas. Se levantaron alrededor de 3750 transacciones del que disponen información sobre su precio en toda la región, y los años en que éstas están registradas van desde 1988 hasta 2016. Adicionalmente se ha complementado con la información de las nuevas "Inscripciones de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Conservadores de Bienes Raíces" que se encuentra como consulta ciudadana en la web de la DGA entre los años 2017 y 2020. El estado de registro de las características esenciales disponibles para el análisis correspondiente al periodo 1988-2020 se presenta en la Tabla 3.45.

Según se puede observar en la Tabla 3.45 la cantidad de transacciones en la región de Arica y Parinacota ha aumentado en el tiempo, desde valores nulos en la década de los 80 hasta 259 en los últimos años. Esto se podría deber al inicio del Código de Aguas en los 80 y a la activación comercial posterior de los 90. Sin embargo, la tendencia de la cantidad de transacciones de agua en la cuenca del río Lluta no es del todo claro, es más pareciera estar entre 30-50 trans/año.

**Tabla 3.45 Transacciones históricas de derechos de aprovechamiento de agua en la cuenca del río Lluta, años 1988-2020**

Año	N° Transacciones		Precio (\$) Cuenca Lluta		Observación
	Región	Cuenca Lluta	Min	Max	
1988	1	0	-	-	
1990	39	6		3.700.000	
1991	61	11	500.000	1.183.500	
1992	99	26	-	-	
1993	70	13	-	-	
1994	86	24	-	-	
1995	59	20	-	-	
1996	91	26	-	-	
1997	95	29	-	-	
1998	138	36	150.000	26.000.000	
1999	117	29	150.000	20.000.000	
2000	104	31	127.000	13.849.000	
2001	114	25	5.000	6.000.000	
2002	132	25	50.000	15.000.000	
2003	145	22	50.000	12.000.000	
2004	119	33	27.000	25.000.000	
2005	152	39	-	-	
2006	175	32	21.000	3.200.000	
2007	168	29	100.000	10.000.000	
2008	230	52	8.000	35.000.000	
2009	187	37	50.000	5.000.000	
2010	200	46	50.000	21.000.000	
2011	219	72	150.000	15.000.000	
2012	193	46	93.333	10.000.000	
2013	179	38	50.000	16.000.000	
2014	207	57	200.000	11.200.000	
2015	229	53	100.000	63.350.256	
2016	147	35	-	-	
2017	259	*			web DGA
2018	212	*			web DGA
2019	196	*			web DGA
2020	80	*			web DGA (A Jul-2020)
<b>Total</b>	<b>4503</b>	<b>892</b>			

\*: Web DGA informa las transacciones sólo por Región, sin tener el detalle por cuenca.

Fuente: elaboración propia en base a DGA (2016) e inscripciones de derechos de agua informados por los Conservadores de Bienes Raíces a nivel nacional, en cumplimiento a lo dispuesto en el Código de Aguas<sup>16</sup>.

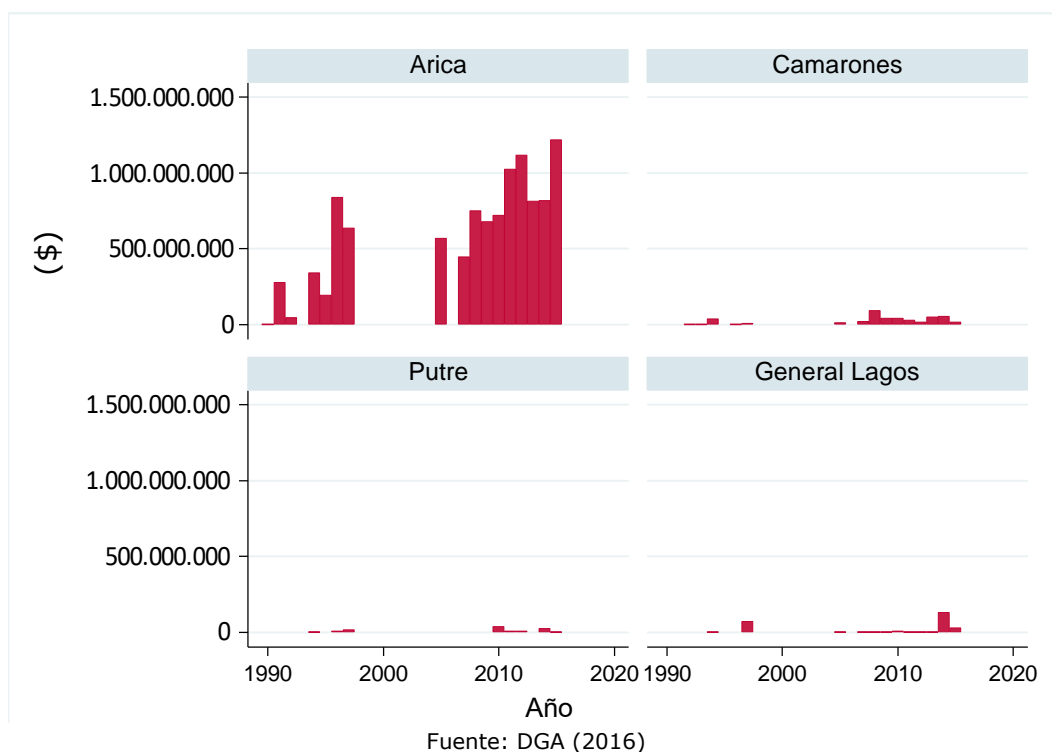
<sup>16</sup> Inscripciones de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Conservadores de Bienes Raíces [en línea] <https://snia.mop.gob.cl/ciudadaniacbr/> (visitado por última vez el 30/06/2020).

### 3.9.2 Valor del agua en la Región

A continuación se hace referencia al valor del agua en la región de Arica y Parinacota, incluyendo los costos transaccionales, tanto directos como indirectos, y el análisis de la evolución del nivel de precios de los derechos de aguas en la región.

#### **Costos transaccionales, tanto directos como indirectos**

En cuanto a los costos directos de las transacciones, a partir de la información del CBR, DGA (2016) pudo identificar el costo de la compra-venta. El gráfico de la Figura 3.23 contiene la evolución de los costos totales (Ch\$) por comuna. El mayor precio se encuentra localizado en la comuna de Arica, donde supera los mil millones de pesos anuales a partir de 2012. El resto de comunas, acorde a su nivel socioeconómico menor, tienen un valor mucho menor.



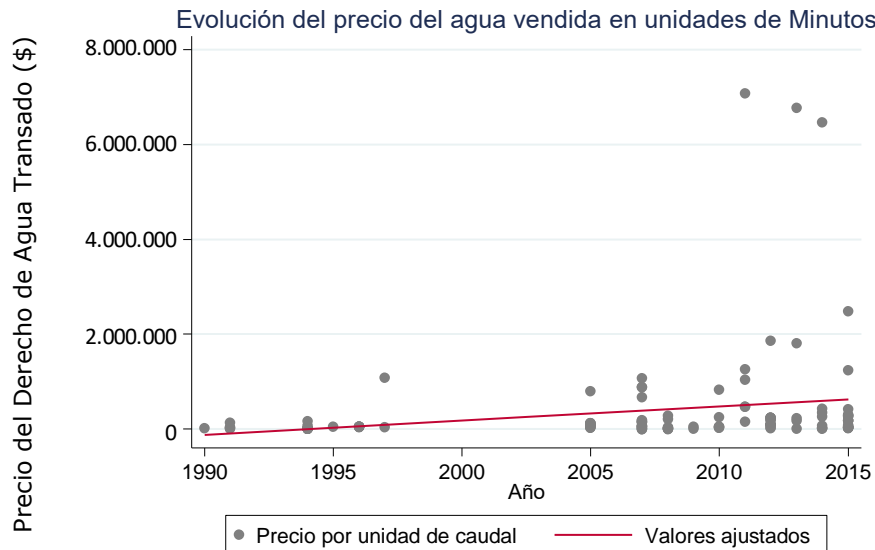
**Figura 3.23 Evolución de los costos directos totales del mercado de agua por comuna, en pesos chilenos.**

#### **Análisis de la evolución del nivel de precios de los derechos de aguas en la región**

El estudio de Mercado desarrollado en DGA (2016) entregó un análisis de la evolución del nivel de precios de los derechos de agua en la Región, según se presentan en los tres gráficos de la Figura 3.24, Figura 3.25 y Figura 3.26 (divididos por el tipo de caudal que se

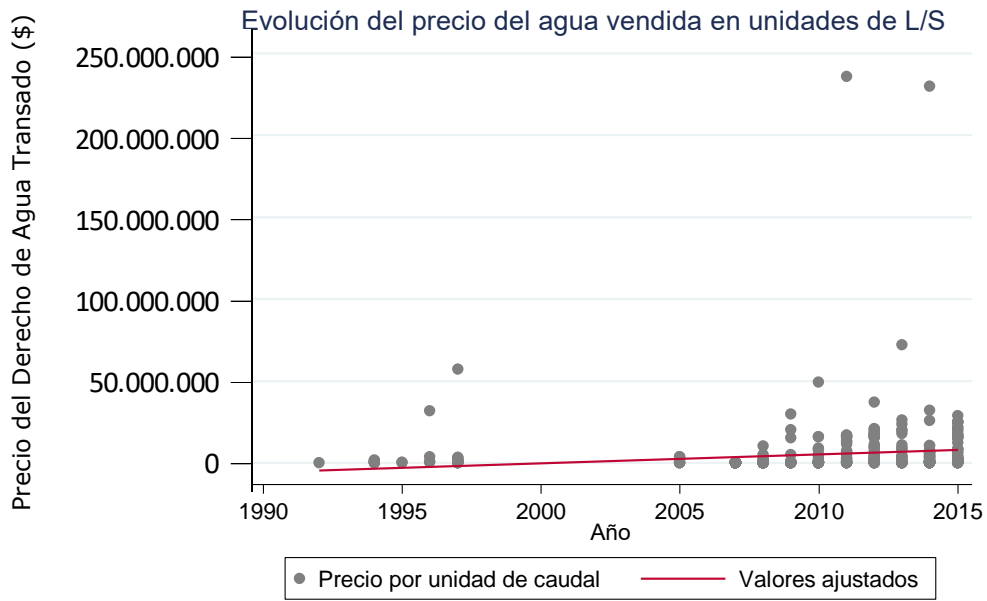
transa, según la información de compraventas extractada del CBR, es decir, en minutos de riego, en l/s y en acciones), de acuerdo a la evolución del precio unitario registrado en el CBR, cuyos montos se expresan en CLP reales de 2008. Las variaciones de los precios entre año y año no incluyen los aumentos en el IPC, y por ese motivo, gráficamente no se observan pendientes pronunciadas. Pero si se puede afirmar que los precios han crecido en todos los casos, demostrando por un lado la mayor actividad del mercado en la última década, y por otro las fuertes presiones entre la oferta y demanda de agua que se dan en la zona a medida que el crecimiento económico es mayor y las necesidades del recurso aumentan.

El aumento del precio más notorio se da en los derechos vendidos en minutos, unidad que corresponde al tiempo de entrega del agua en el canal correspondiente (Figura 3.24), mientras que la mayor heterogeneidad la presentan las acciones (Figura 3.26). Observando los datos disponibles se puede afirmar que en la región de Arica y Parinacota no hay especulación con el agua, dada su baja disponibilidad general a lo largo del tiempo.



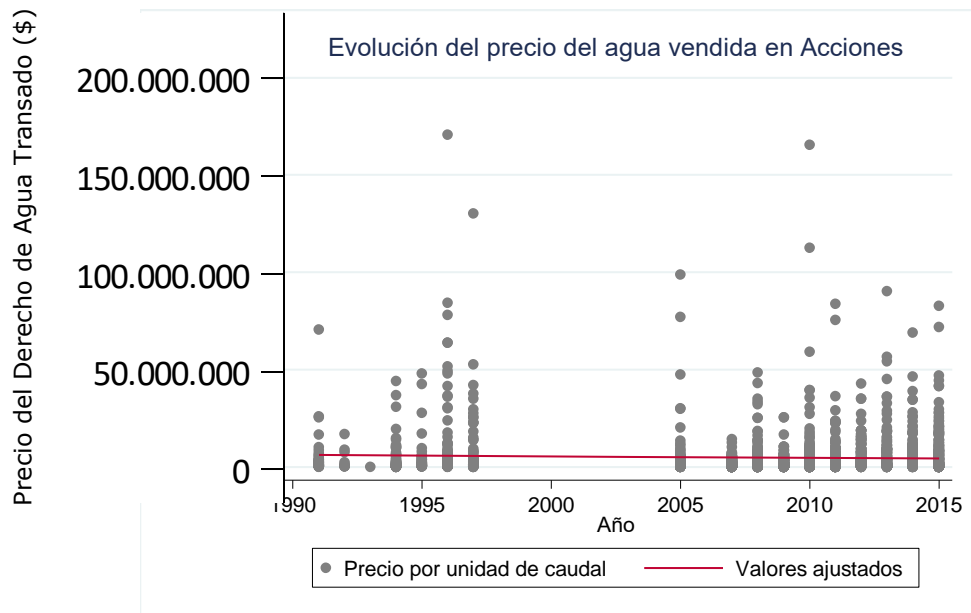
Fuente: DGA (2016)

**Figura 3.24 Evolución histórica del precio del agua transada en unidades de caudal de minutos.**



Fuente: DGA (2016)

**Figura 3.25 Evolución histórica del precio del agua transada en unidades de caudal de l/s.**



Fuente: DGA (2016)

**Figura 3.26 Evolución histórica del precio del agua transada en Acciones.**

### 3.9.3 Caracterización de algunas OUA de Lluta en el mercado

De acuerdo a los valores de transacción levantados desde el CBR en el estudio de DGA (2016), se preparó la Tabla 3.46, la que contiene el número de transacciones y el valor medio de la transacción (Pesos/unidad de caudal) para algunas CDA de la cuenca del río Lluta que presentan más de una transacción en acciones. En ésta se identifican aquellas CDA con mayor actividad en el mercado de aguas. Sin embargo, no se incluyó la CDA Canal Sascapa, quien es la CDA que presenta una mayor cantidad de transferencias. El precio medio pagado por acción oscila desde los 127.000 pesos hasta los 7 millones. Existen valores elevados que responden a la conversión de una acción en l/s. El precio varía dependiendo del rendimiento de la misma y de la escasez del recurso.

**Tabla 3.46 Transacciones de acciones y valor medio de las transacciones por Organización de Usuarios del Agua (OUA) de la cuenca del río Lluta.**

OUA a que pertenece	Nº Transacc.	Precio medio (\$)
CDA Canal Beneficencia	2	6.658.483
CDA Canal Beneficencia	4	4.467.823
CDA Canal Beyzan-Cora	2	537.207
CDA Canal Chacabuco	11	883.219
CDA Canal El Muro	7	3.104.574
CDA Canal Huancarane	4	98.206
CDA Canal Mancaruma-Chulpane	3	7.298.528
CDA Canal Poconchile	2	401.598
CDA Canal Pueblo de Socoroma	2	2.231.099
CDA Canal Santa Raquel	2	127.824
CDA Canal Sascapa	11	1.329.166
CDA Canal Valles Hermosos	8	3.052.686

Fuente: extraído de DGA (2016)

El factor más importante que incide en el precio del derecho de aprovechamiento en Lluta es la calidad del agua. Sin embargo, la presión de la actividad agrícola en la región está llevando a que siempre los precios estén subiendo.

No se tienen antecedentes de condiciones habilitantes para el desarrollo de un mercado de aguas.

## 4. OFERTA HÍDRICA

En el presente capítulo se presenta la oferta hídrica de la cuenca del río Lluta, tanto de los recursos hídricos superficiales como subterráneos. Para ello se ha analizado la cantidad y calidad del recurso por subcuenca, de acuerdo a los antecedentes disponibles y a los resultados obtenidos en los modelos de simulación.

### 4.1 Agua superficial

En los siguientes puntos, se hace referencia a las fuentes de agua, específicamente las de tipo superficial. Se indica la identificación de las fuentes, la oferta estimada actual y proyectada de la fuente, y la calidad actual del agua.

#### 4.1.1 Fuentes

A continuación, se identifican las fuentes de agua superficiales en la cuenca del río Lluta, se da cuenta de las posibles restricciones a su uso y se indican los caudales registrados en las estaciones fluviométricas dentro de la cuenca.

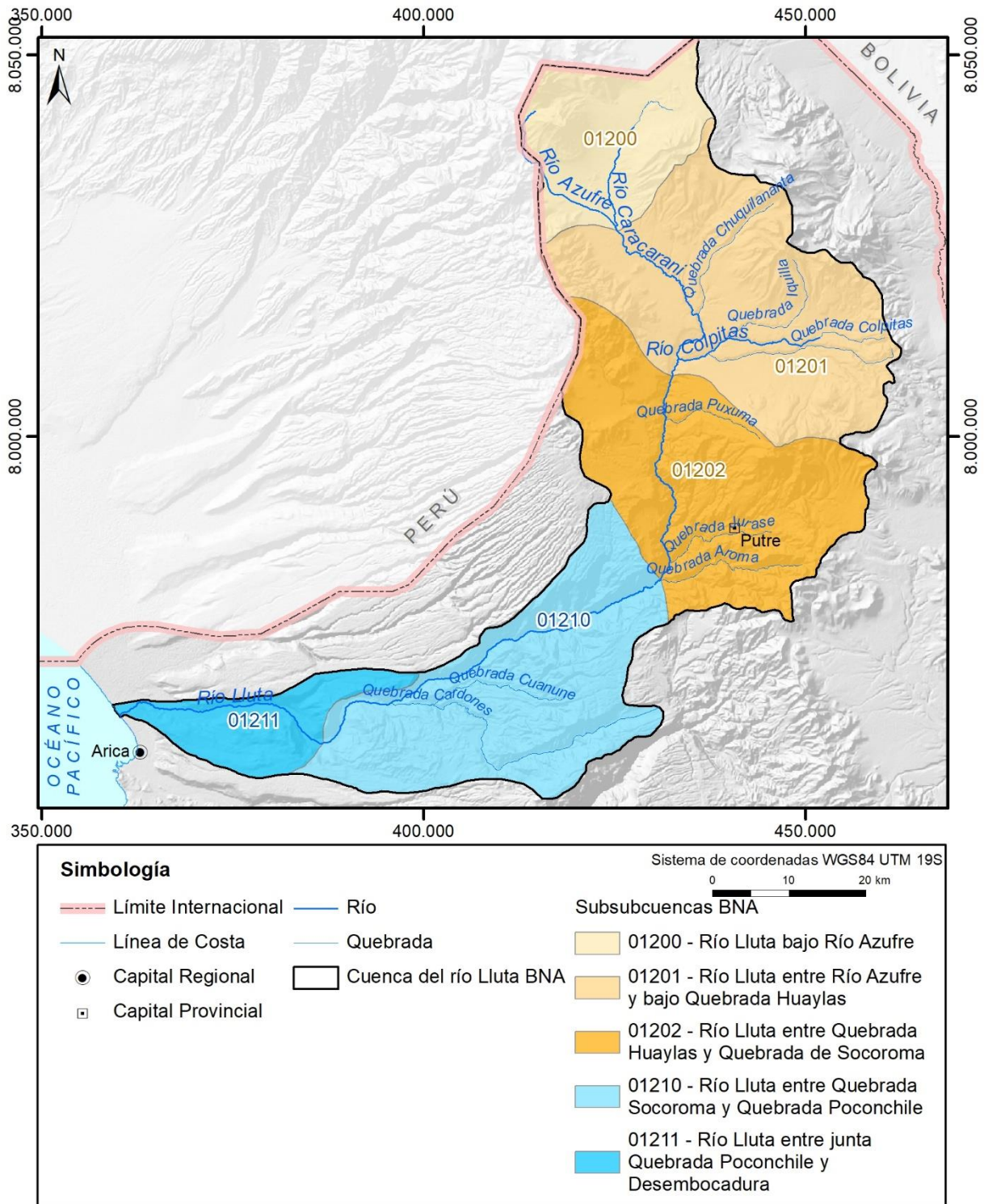
#### Identificación

La cuenca del río Lluta abarca el área que drena el río Lluta desde su salida de la cordillera occidental hasta su desembocadura en el océano Pacífico. Comprende un área total de 3.415 km<sup>2</sup> (Tabla 4.1). Y según se puede observar en la Figura 4.1, se divide en dos subcuencas a la altura de la localidad de Socoroma, donde se junta con la quebrada Socoroma: río Lluta Alto y río Lluta bajo.

**Tabla 4.1 Cuenca y subcuencas del río Lluta.**

Cuenca			Subcuenca		
Código	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	Código	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )
012	Río Lluta	3.415	0120	río Lluta alto	2.251
			0121	río Lluta bajo	1.164

Fuente: elaboración propia a partir de mapoteca DGA.



Fuente: elaboración propia a partir de mapoteca DGA.

**Figura 4.1 Cuenca, subcuencas y subsubcuencas del río Lluta.**

### Río Lluta Alto

La subcuenca Río Lluta Alto abarca el área que drena el río Lluta desde su salida de la cordillera occidental hasta la junta con la quebrada Socoroma, a la altura de la localidad de Socoroma y tiene un área de 2.251 km<sup>2</sup>. Según se detalla en la Tabla 4.2, la subcuenca se subdivide en tres subsubcuencas: en la primera se desarrollan el río Azufre y el río Caracarani, los cuales se juntan a la altura de la localidad de Humapalca, manteniendo el nombre de río Caracarani. Esta junta da paso a la segunda subsubcuenca, donde fluye el río Colpitas, que se junta con la quebrada Allane, y luego con el río Caracarani a la altura de la localidad de coronel Alcérreca, dando nacimiento al río Lluta y a la tercera subsubcuenca, donde el río Lluta se junta con la quebrada Jurase y luego con la quebrada Aroma.

**Tabla 4.2 Subcuenca y subsubcuencas del río Lluta Alto.**

Subcuenca			Subsubcuenca		
Código	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	Código	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )
0120	río Lluta alto	2.251	01200	río Lluta bajo río Azufre	366
			01201	río Lluta entre río Azufre y bajo quebrada Huaylas	992
			01202	río Lluta entre quebrada Huaylas y quebrada Socoroma	893

Fuente: elaboración propia a partir de mapoteca DGA de la Cuenca BNA.

### Río Lluta Bajo

La subcuenca Río Lluta Bajo abarca el área que drena el río Lluta desde la junta con la quebrada Socoroma, a la altura de la localidad de Socoroma y hasta su desembocadura en el océano Pacífico, al norte de la ciudad de Arica. Tiene un área de 1.164 km<sup>2</sup> y en la Tabla 4.3 se detallan las dos subsubcuencas. En la subcuenca, el río Lluta recibe los afluentes de la quebrada Cardones a la altura de la localidad de El Tambo, y de la quebrada Poconchile, a la altura de la localidad de Poconchile, dando paso a la última subsubcuenca donde, finalmente desemboca en el océano Pacífico, al norte de la ciudad de Arica.

**Tabla 4.3 Subcuenca y subsubcuencas del río Lluta Bajo.**

Subcuenca			Subsubcuenca		
Código	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	Código	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )
0121	río Lluta bajo	1.164	01210	río Lluta entre quebrada Socoroma y quebrada Poconchile	918
			01211	río Lluta entre junta quebrada Poconchile y desembocadura	246

Fuente: elaboración propia a partir de mapoteca DGA de la Cuenca BNA.

### **Restricciones**

Con la finalidad de tener una visión amplia de los problemas de escasez que existen y/o han ido apareciendo temporalmente, se presentan seguidamente las restricciones al uso de agua en la cuenca, en sus diferentes figuras de protección de las aguas superficiales. En la sección 4.2.1 se presenta la definición de cada restricción considerada.

#### ***Declaraciones de agotamiento de aguas superficiales***

No se han dictado declaraciones de agotamiento en la cuenca del río Lluta.

#### ***Zonas de conservación***

Las áreas representadas en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) se incluyen en la sección 2.3.2.

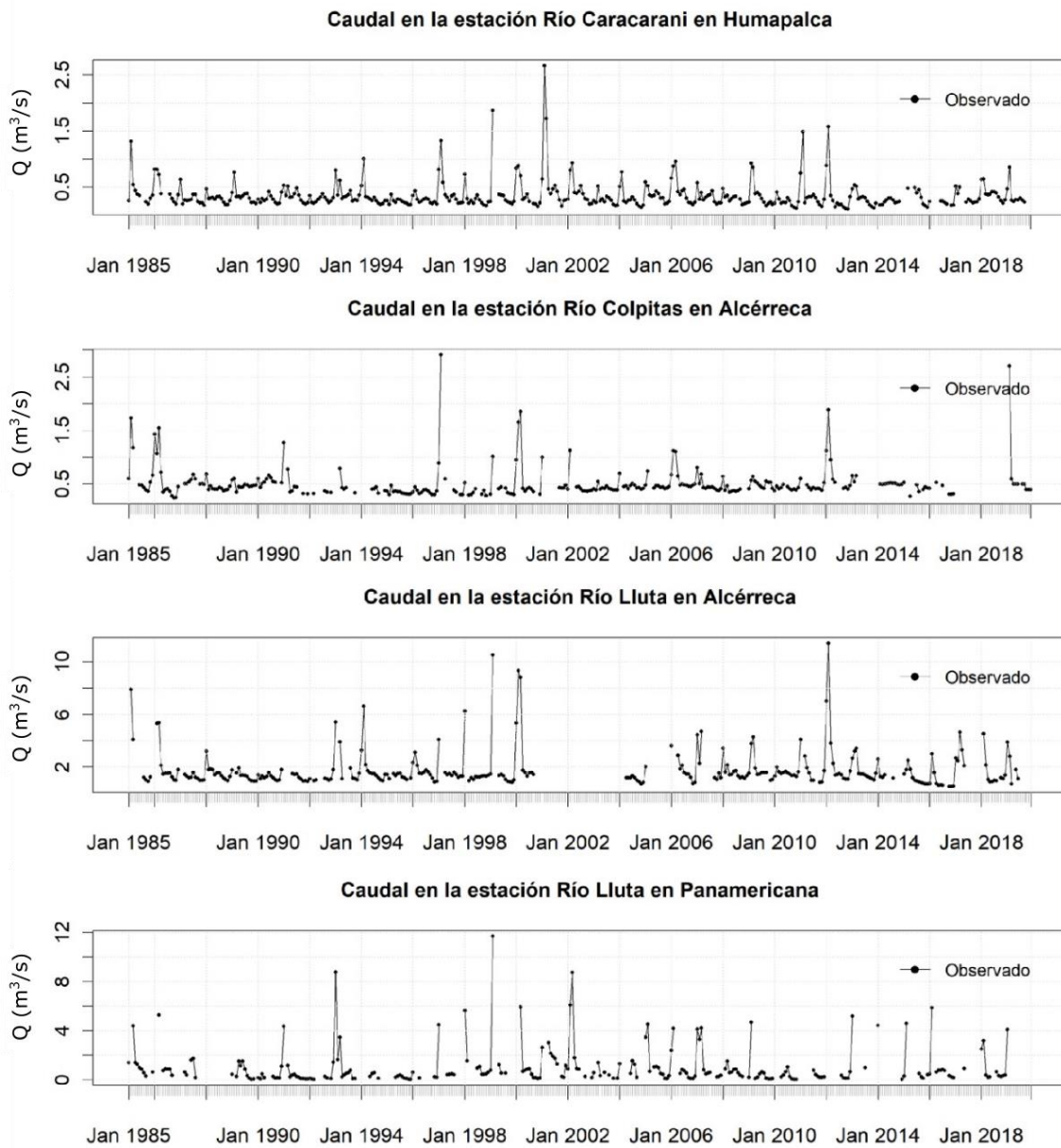
En particular, el Decreto 2701 de 2009 de la Ilustre Municipalidad de Arica aprueba ordenanza sobre la protección y conservación de la Reserva Natural Municipal de la Desembocadura del Río Lluta.

#### ***Decretos de reserva***

No se han dictado decretos de reserva de agua en la cuenca del río Lluta.

### **Caudales registrados en estaciones fluviométricas**

En la Figura 4.2 se presentan las series mensuales de caudales registrados en las estaciones fluviométricas consideradas para la calibración del modelo hidrológico. Se observa la variación interanual, fuertemente afectada por eventos del tipo "Invierno Altiplánico" a lo largo de la cuenca.



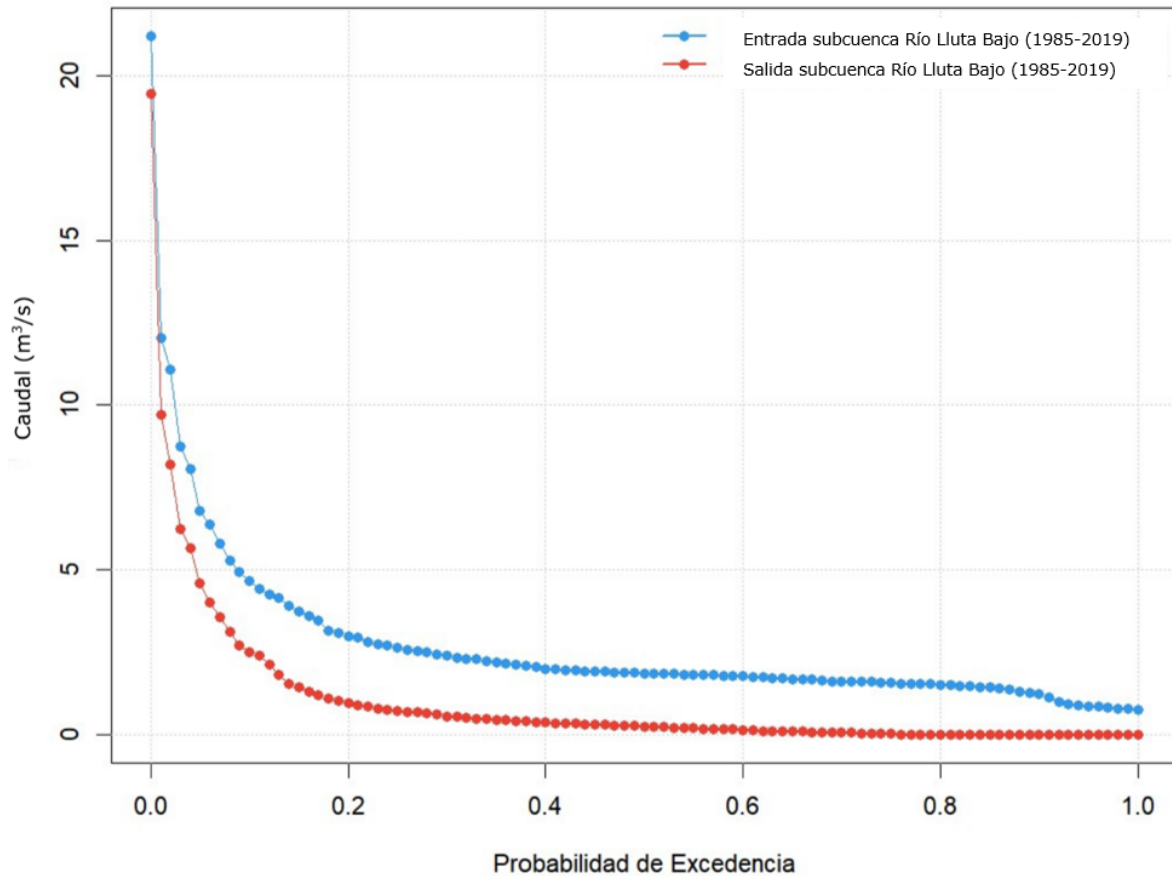
Fuente: elaboración propia.

**Figura 4.2 Serie de caudales mensuales consideradas en la calibración del modelo hidrológico, periodo 1985-2019.**

#### 4.1.2 Oferta en la fuente

La oferta en la fuente se ha estimado para el Río Lluta a la entrada a la subcuenca Río Lluta Bajo, punto que coincide además con la entrada al SHAC río Lluta Bajo, considerando que la mayor parte de las extracciones superficiales se realizan aguas abajo de este punto, y

por tanto representa un buen indicativo de la oferta. En la Figura 4.3 se muestran las curvas de variación de caudales para la entrada y salida de la subcuenca Río Lluta Bajo, obtenidas en la modelación del periodo histórico (1985 – 2019). El caudal medio anual a la entrada de la subcuenca es de  $2,74 \text{ m}^3/\text{s}$ , mientras que los caudales asociados a un 50% y 85% de probabilidad de excedencia corresponden a  $1,87 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $1,44 \text{ m}^3/\text{s}$  respectivamente. La disminución en los caudales de salida es consecuencia directa de las extracciones superficiales y la infiltración neta del río.



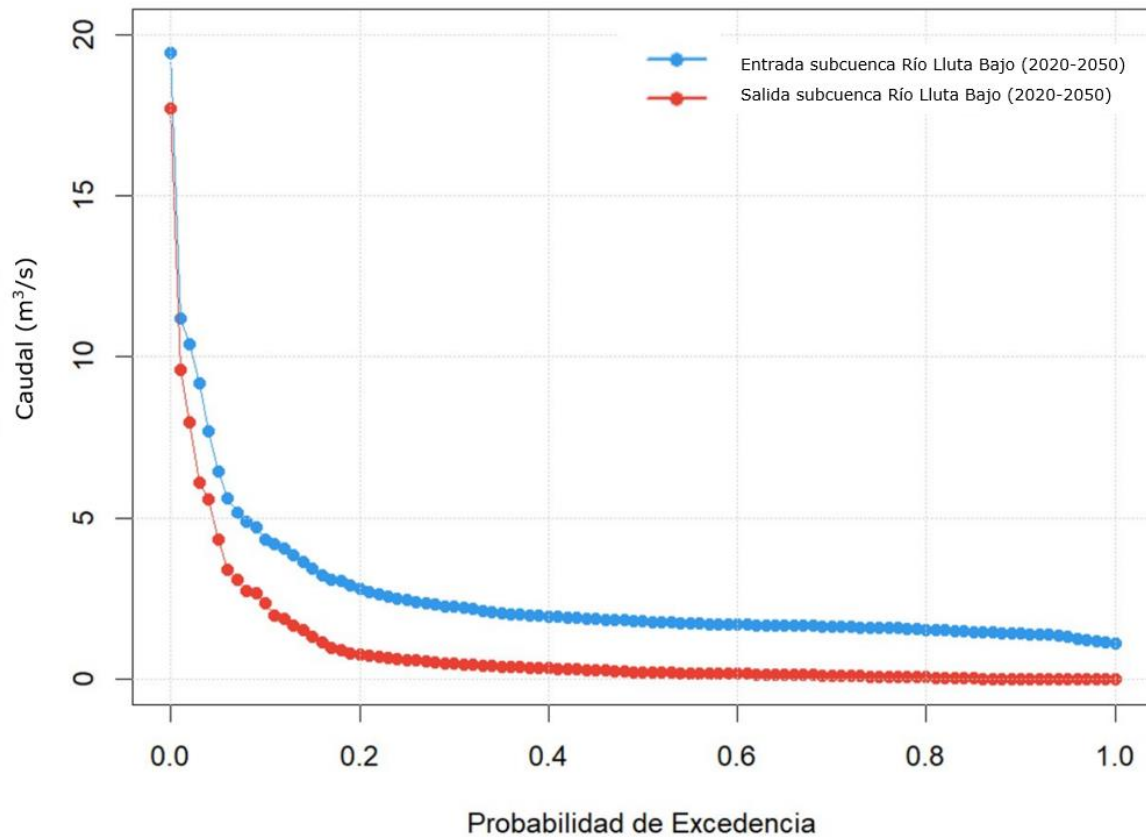
Fuente: elaboración propia.

**Figura 4.3 Curvas de duración de caudales en la entrada y salida de la subcuenca Río Lluta Bajo para el escenario histórico (1985 – 2019).**

#### 4.1.3 Oferta en la fuente proyectada

La oferta en la fuente proyectada se ha estimado de igual forma para el Río Lluta a la subcuenca Río Lluta Bajo, considerando que la mayor parte de las extracciones superficiales se realizan aguas debajo de este punto, y por tanto representa un buen indicativo de la oferta. En la Figura 4.4 se muestran las curvas de variación de caudales para la entrada y salida de la subcuenca Río Lluta Bajo, obtenidas en la modelación del periodo futuro (2020 - 2050). Los caudales asociados a un 50% y 85% de probabilidad de excedencia

corresponden a  $1,81 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $1,47 \text{ m}^3/\text{s}$  respectivamente. La disminución en los caudales de salida es consecuencia directa de las extracciones superficiales y la infiltración neta del río.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 4.4 Curvas de duración de caudales en la entrada y salida de la subcuenca Río Lluta Bajo para el periodo futuro (2020 - 2050).**

#### 4.1.4 Calidad actual

Las principales fuentes de información histórica de la calidad de las aguas son: los estudios que se generaron en los años 60; los estudios generados por la DGA en los años 1990-2000, como el estudio de la JICA (DGA, 1995), el de CADE-IDEPE (DGA, 2004), y los de Dictuc (DGA, 2008a, 2008b, 2009b); y los últimos estudios de ICASS (DGA, 2017d, 2016) y del Chironta de GSI (DOH, 2017). Adicionalmente, hay muchas publicaciones recientes que han presentado caracterizaciones químicas e hidroquímicas de los sedimentos y aguas del río Lluta (Baeza, 2010; Copaja & Muñoz, 2018; Figueroa et al., 2006; Leiva et al., 2014; San Miguel, 2017), así como la relación que existe entre la calidad del agua y algunos cultivos (Bastías et al., 2015, 2013; Torres & Acevedo, 2008) y específicamente del choclo lluteño con las aguas del río Lluta (Bastías et al., 2011; Trevizan & Challapa, 2020), cuyo detalle se puede observar en la sección 5.2 del Anexo J.

La calidad de agua superficial ha sido caracterizada a partir de la información de las estaciones de calidad que conforman la Red Hidrométrica de la DGA y de los principales estudios de la calidad del agua realizados en la cuenca que incluyeron campañas de muestreo hidroquímico, tales como (DGA, 2014a) y DGA (2016). La ubicación de la red de calidad de aguas de la DGA en la cuenca del Río Lluta y su estado de vigencia son presentadas en la Figura 2.53, a su vez, el tiempo de vigencia y los parámetros analizados se presentan en la Tabla 4.4. La ubicación de puntos de muestreo de estudios anteriores se encuentra en la sección 5.2 del Anexo J y los análisis químicos de las estaciones DGA en la sección 5.1 del Anexo J.

**Tabla 4.4 Categoría de parámetros analizados por cada estación DGA para la Cuenca del Río Lluta.**

NOMBRE	Fecha Inicio	Fecha Suspensión	Parámetros básicos	Macroelementos	Metales (totales)	Nutrientes	Compuestos orgánicos
RIO LLUTA EN POCONCHILE (CA)	01-01-1956	01-02-1976	x				
RIO LLUTA EN PUENTE CHACABUCO (CA)	01-01-1962	01-10-1969	x				
VERTIENTE AL PICHIN	01-05-2014	VIGENTE	x	x	x		x
RIO LLUTA EN SANTA LUCIA (CA)	01-10-1956	01-03-1977	x	x			
RIO LLUTA EN ROSARIO (CA)	01-01-1960	01-02-1969	x	x			
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	01-01-1960	VIGENTE	x	x	x	x	
RIO LLUTA EN TOCONTASI	01-01-1960	VIGENTE	x	x	x	x	
RIO LLUTA EN CHAPISCA	01-02-1997	VIGENTE	x	x	x	x	
RIO LLUTA EN EL MOLINO	01-01-1956	13-06-2002	x	x			
QUEBRADA SOCOROMA EN COCA (CA)	01-01-1968	01-06-1968	x	x			
VERTIENTE LLAUCONA EN PUTRE (CA)	01-09-1975	01-01-1978	x	x			
VERTIENTE LLAUCOMA EN LLAUCONA (CA)	01-01-1975	01-11-1982	x	x			
VERTIENTE TAIPICAGUA (CA)	01-01-1974	01-01-1978	x	x			
VERTIENTE TOJOTOJONI (CA)	01-01-1974	01-11-1983	x	x			
RIO CUBRINANI EN PUTRE (CA)	01-01-1974	01-11-1983	x	x			
CANAL LLUSCUMA EN PUTRE (CA)	01-01-1976	01-11-1983	x	x			
RIO LLUTA EN ALCÉRRECA	01-01-1956	VIGENTE	x	x			
RIO COLPITAS EN ALCÉRRECA	01-01-1956	VIGENTE	x	x	x	x	x
RIO CARACARANI EN ALCÉRRECA	01-01-1956	VIGENTE	x	x	x	x	x
RIO CARACARANI EN SICA SICA (CA)	01-01-1956	01-11-1976	x	x			
RIO CARACARANI EN HUMAPALCA	01-01-1956	VIGENTE	x	x		x	
RIO AZUFRE ANTES RIO CARACARANI (CA)	01-01-1960	VIGENTE	x	x	x	x	x

Fuente: elaboración propia con datos del Mapa Hidroquímico de Chile, DGA (2019a)

### **Descripción hidroquímica de aguas superficiales**

El río Lluta se forma por la confluencia en Humapalca de los ríos Caracarani y Azufre, siendo el primero el más caudaloso. El río Azufre se forma por la confluencia de varias vertientes, de las cuales la quebrada Tacora es la principal y se caracteriza por el afloramiento de una vertiente hidrotermal, correspondiente a la vertiente de Aguas Calientes. Ésta es de aguas ácidas sulfatadas sódico-cálcicas, que aguas abajo de la mina de azufre abandonada corresponden a aguas ácidas sulfatadas sódicas (ver Tabla 4.5). Por otro lado, el río Caracarani se origina a los pies del portezuelo de Laguna Blanca y recibe los aportes hídricos del faldeo oriental del volcán Tacora. Se observa una evolución en el río Caracarani, en el que una de las vertientes que dan origen al río Caracarani corresponde a agua bicarbonatada cálcica muy poco mineralizada, aguas abajo en el río son más clorurada-sulfatada cálcicas y antes de la confluencia con el río Azufre son sulfatadas cálcicas y presentan un mayor contenido en elementos mayoritarios, de 10 meq/l, similar al río Azufre, pero con un pH básico. Aguas abajo, antes de la confluencia con el río Azufre, las aguas que alimentan al río Caracarani son sulfatadas sódico-cálcicas con alto contenido en magnesio.

La confluencia de los ríos Azufre y Caracarani en Humapalca, da lugar al nacimiento del río Lluta. Las aguas del río son sulfatadas sódicas con un alto contenido de cloruros y calcio y van evolucionando aguas abajo, siendo cloruradas cálcicas en la desembocadura del valle del río Lluta.

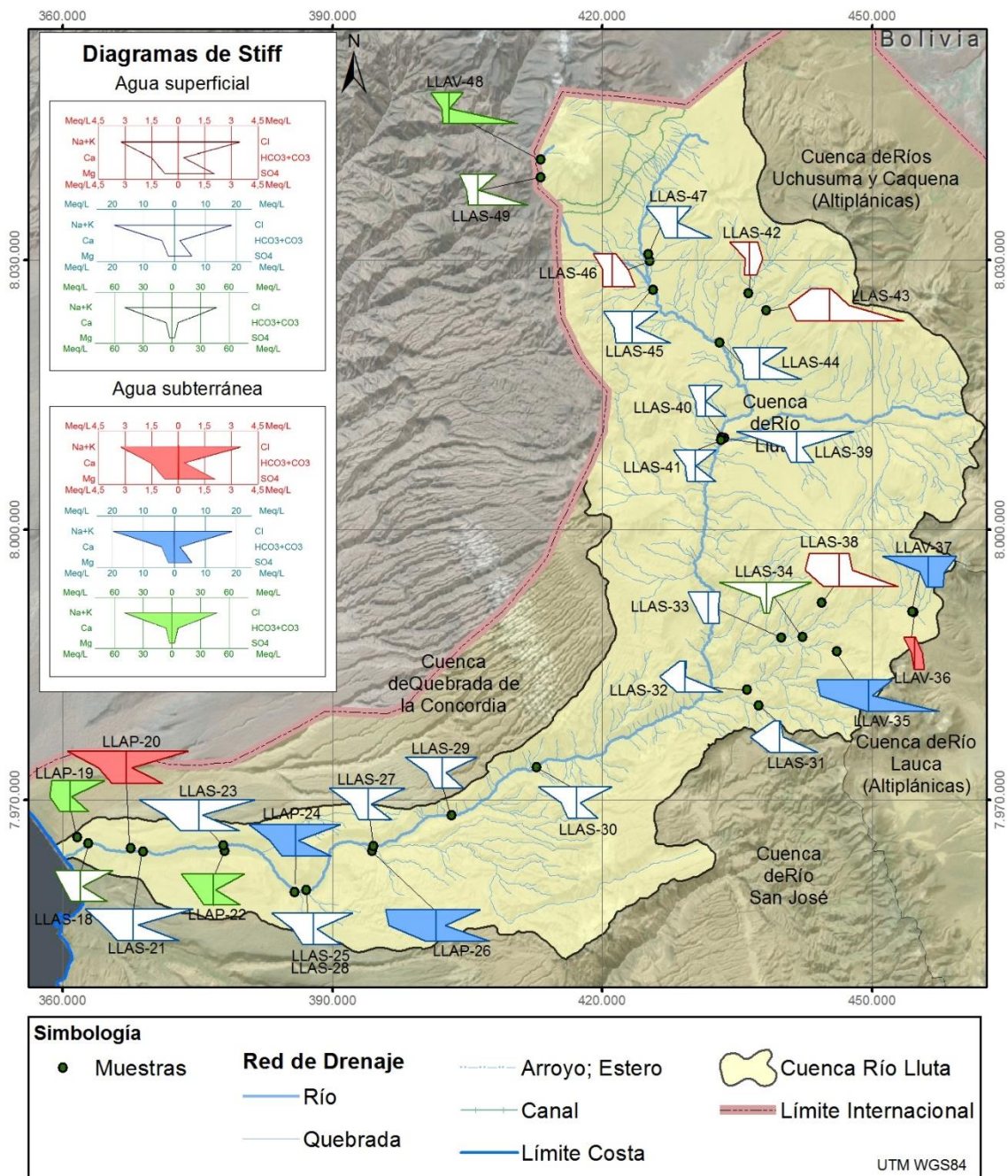
**Tabla 4.5 Clasificación química de las aguas superficiales de la cuenca del Río Lluta por sectores.**

<b>Sector</b>	<b>Tipo Agua</b>
Río Azufre en cabecera de cuenca	Sulfatadas sódico-cálcicas
Río Azufre aguas abajo de mina Azufre	Sulfatadas sódicas
Vertientes en origen río Caracarani	Bicarbonatadas cálcicas
Río Caracarani	Cloruradas-sulfatadas cálcicas
Río Caracarani antes de confluencia con río Azufre	Sulfatadas cálcicas
Río Lluta en confluencia río Azufre y Caracarani	Sulfatadas sódicas
Río Lluta en desembocadura	Cloruradas cálcicas

Fuente: elaboración propia, basada en DGA (2016).

En la Figura 4.5 se presenta el tipo hidroquímico de las aguas de la cuenca mediante un mapa de diagramas de Stiff, elaborado con la información de los análisis químicos de noviembre del año 2015 (DGA, 2016). Esta es la información más actualizada en la cuenca que permite realizar esta clasificación, debido a que, en los registros de las estaciones de calidad de agua de la DGA, aproximadamente a partir de los años 2006-2009, no se realizan mediciones de los parámetros bicarbonato y carbonato. En la sección 5.2.1 del Anexo J, se encuentran los diagramas de Piper asociados a estos resultados.

En este mapa se observa que la mayor parte de las aguas superficiales son sódicas en cuanto al catión principal, eventualmente cálcicas, y presentan sulfato y cloro como aniones mayoritarios.



Fuente: DGA (2016).

**Figura 4.5 Diagrama Stiff de las muestras analizadas de la cuenca del Lluta por ICASS, en campaña noviembre 2015. Los colores de los diagramas hacen referencia a distintas escalas: en rojo, una escala de 4,5 mg/l; en azul una escala de 25 mg/l, mientras que, en verde, el diagrama está a una escala de 90 mg/l.**

### **Calidad de aguas superficiales**

La calidad del agua superficial de la cuenca del río Lluta está regulada principalmente por procesos naturales y antropogénicos (Baeza, 2010; DGA, 2008b). El río Lluta recibe contaminantes provenientes de dos fuentes, por un lado, el río Azufre aporta aguas ácidas y ricas en arsénico, boro, azufre y metales como hierro, manganeso y zinc y, aguas abajo, el río Colpitas suministra aguas alcalinas y con alto contenido de boro.

Los contenidos particulares de los minerales de las aguas están asociadas a características geológicas: arsénico, boro, azufre y metales como hierro, manganeso y zinc, son aportados por el río Azufre, el cual nace a los pies de la falda sur del volcán Tacora. Y, el boro proviene principalmente de afloramientos identificados como borateras ubicadas aguas arriba del pueblo de Colpitas, que finalmente desembocan al río del mismo nombre.

En el río Caracarani en Alcérreca, antes de la confluencia del río Colpitas, las aguas presentan una conductividad eléctrica relativamente baja, inferior a 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un pH prácticamente neutro, de 6,6 y altos contenidos de boro, arsénico y cobre. Las aguas de la quebrada Colpitas, presentan una conductividad moderadamente alta, con pH neutro, de 7,6 y contenidos muy altos de boro y altos de arsénico.

El río Lluta, a la altura de la carretera Panamericana, presenta una elevada conductividad, con valores entre 3.000 y 7.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y un pH levemente alcalino. El contenido de boro es muy alto y el de arsénico es levemente alto. El contenido de iones mayoritarios del río en este punto es superior al observado en la quebrada Colpitas, en términos de sulfatos y bicarbonatos, y similar en términos de cloruros.

DGA (2016), concluye que ninguna de las muestras de aguas superficiales de la cuenca analizadas en su estudio es apta para el consumo humano, según la norma de Agua Potable NCh. 409, ya que estas aguas superan el límite de arsénico, cadmio, cloruro, fluoruros, hierro, magnesio, manganeso, mercurio, plomo, sulfatos, sólidos totales disueltos, zinc y pH. Por otra parte, las aguas suelen superar los límites de aluminio y boro que determina la norma de riego NCh 1.333.

Por otra parte, los análisis fisicoquímicos de las estaciones de la DGA en la cuenca, entregan como resultado que todas las muestras de agua superan en al menos un parámetro los límites permitidos por las normas antes mencionadas.

En la Tabla 4.6 se presenta un resumen de la calidad de las aguas superficiales en la cuenca por sectores desde la cabecera a la desembocadura, según los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados en puntos muestreo del estudio DGA (2016) y la estadística de las estaciones de calidad de agua de la DGA.

El pH extremadamente ácido y la alta concentración de metales en las aguas del río Azufre, en la cabecera de la cuenca, condicionan la calidad química aguas abajo. Estas aguas interactúan con zonas intensamente mineralizadas, superando el límite de arsénico, cadmio, cloruro, fluoruros, hierro, magnesio, manganeso, mercurio, plomo,

sulfatos, sólidos totales disueltos, zinc, entre otros. Esta condición mejora en parte con los aportes del río Caracarani, Colpitas y las numerosas vertientes que originan las quebradas laterales que alimentan el cauce principal. Aguas abajo, en el río Lluta, el pH se encuentra cercano a neutro alcanzando valores levemente alcalinos en la desembocadura. Sin embargo, cabe destacar que, de acuerdo al análisis de evolución temporal del pH (Figura 4.6), se observó que en la estación Río Lluta en Tocontasi este parámetro mostró una tendencia a la disminución, alcanzando valores más cercanos a la acidez (pH ~5) en los últimos dos años de monitoreo (2018-2019).

Debido a la condición natural de las aguas, se prevé que la calidad química de éstas sólo pueda mejorar realizando obras de infraestructura que permitan captar y canalizar las aguas del río Azufre antes de la confluencia con el río Caracarani, evitando así el alto aporte de metales y el bajo pH. Por otra parte, se considera que las aguas del río Caracarani antes de la confluencia del río Azufre, es la fuente superficial de mejor calidad en la cuenca en cuanto a pH y salinidad. Según DGA (2008b) en este sector el río Caracarani entre Humapalca y Colpitas, recibe el aporte de quebradas menores las cuales representan un recurso del orden de 250 l/s de agua de buena calidad.

**Tabla 4.6 Resumen de la calidad de las aguas superficiales en la cuenca de Río Lluta**

Sector	Muestra / Estación DGA	Clasificación química	pH	CE (uS/cm)	Salinidad		Elementos sobre Normas de calidad de agua***	
					TDS (mg/l)**	Clasificación	NCh. 409	NCh. 1333
Vertientes en origen Río Azufre	LLAV-48 (DGA, 2016)	sulfatadas sódicas	1,5 - 2	8.500 - 12.500	5.500 - 8.000	salobre	Cl, F, Fe, Mn, As, Cd, Pb, Se, SO <sub>4</sub> , TDS, Zn, pH, Cr	Al, B
Río Azufre en cabecera de cuenca	LLAS-49 (DGA, 2016)	sulfatadas sódico-cálcicas	2	7.500 - 8.000	4.800 - 5.200	salobre	As, Cl, F, Fe, Mn, Pb, SO <sub>4</sub> , TDS, Zn, pH, Cd	Al, B
Río Caracarani antes de confluencia con Río Azufre	LLAS-46 (DGA, 2016)	sulfatadas bicarbonatadas sódicas	7 - 8	< 1.000	< 640	dulce	As, Fe, Mn,	Al
Río Caracarani	LLAS-44 (DGA, 2016)	sulfatadas cloruradas sódicas	4 - 5,5	1.500 - 3.000	1.000 - 2.000	salobre	As, Fe, Mn, F, Pb, SO <sub>4</sub> , TDS, pH	Al, B
Río Caracarani en Alcérreca	Río Caracarani en Alcérreca	sulfatadas cloruradas sódicas	4,3	1.000 - 3.000*	640 - 2.000	dulce-salobre	As, Cd, Fe, Mn, Hg, SO <sub>4</sub> , TDS	B, Al, Cl
Río Colpitas en Alcérreca	Río Colpitas en Alcérreca	cloruradas sódicas	6-8,5	2.000 - 3.000*	1.300 - 2.000	salobre	Cl, As, Fe, Mn, Pb, TDS	B, Al, SO <sub>4</sub>
Río Lluta en Chapisca	Río Lluta en Chapisca	cloruradas sulfatadas sódicas	6,3	1.500 - 2.500*	1.000 - 1.600	salobre	Cl, Fe, Pb, SO <sub>4</sub>	Al, B
Río Lluta	LLAS-27 (DGA, 2016)	cloruradas sódicas	7 - 8	700 - 1.500	450 - 1.000	dulce	As, Fe, Mn, Hg, Pb	Al, B
Río Lluta en desembocadura	Río Lluta en Panamericana	cloruradas sulfatadas sódicas	6 - 9	2.000 - 6.000*	1.300 - 3.850	salobre	As, Cl, Cd, Fe, Mn, Hg, pH, Pb, SO <sub>4</sub> , TDS	Al, B
Pozos en el valle del río Lluta	LLAP-24/LLAP-20 (DGA, 2016)	cloruradas sulfatadas sódicas	6 - 7,5	2.500 - 5.000	1.600 - 3.200	salobre	Cl, Fe, As, SO <sub>4</sub> , TDS, Hg	B
Pozos en desembocadura	LLAP-19 (DGA, 2016)	cloruradas cálcicas	6 - 7	4.000 - 5.500	2.550 - 3.550	salobre	Cl, Mg, As, SO <sub>4</sub> , TDS, Fe	B

\* Rango con mayor concentración de datos

\*\* Obtenida en base TDS (mg/l)  $\approx 0,64 \times$  CE (uS/cm)

\*\*\* Extraído de DGA (2016) y de datos de las estaciones de calidad de agua DGA

Fuente: elaboración propia a partir de DGA (2016) y Estaciones Calidad de Agua DGA.

### **Evolución temporal de parámetros**

Como resultado del análisis de evolución temporal de los parámetros fisicoquímicos de pH, CE, sulfato y boro en las aguas superficiales de la cuenca, en base a la información de 5 estaciones DGA para el periodo 1990-2019, cuyo detalle y metodología se encuentra en la sección 5.2.3 del Anexo J, se obtuvo en términos generales que la mayor parte de los parámetros analizados en las estaciones de la cuenca, muestran una tendencia estable en el tiempo, con algunos casos excepcionales.

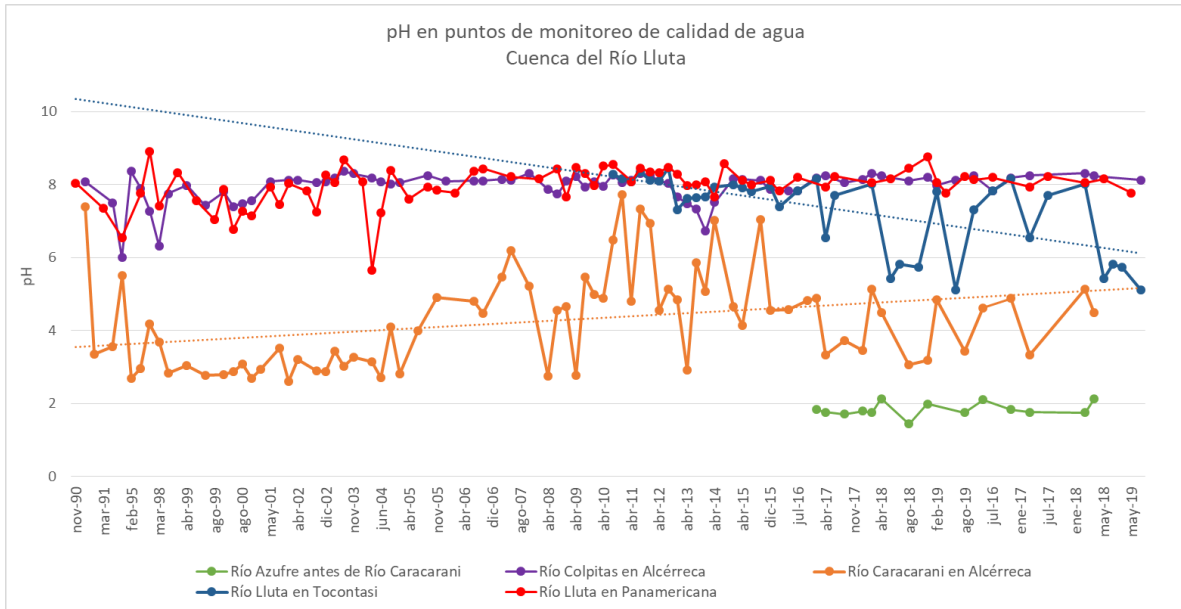
#### ***pH***

El pH en las aguas de la cuenca varía ampliamente entre muy ácido a levemente alcalino (Figura 4.6). El menor valor lo presentan las aguas en la estación Río Azufre antes del Río Caracarani, en la cabecera de la cuenca, con pH entre 1,4 y 2,1. Los registros en esta estación se extienden entre diciembre de 2016 y abril de 2018. La estación Río Caracarani en Alcérreca presenta una mayor variabilidad en los registros de pH, entre 2,6 y 7,7, sin embargo, la mayor concentración de datos oscila en torno a las 2,5 y 4,5 unidades de pH. Distinto es el caso de la estación Río Colpitas en Alcérreca, con aguas neutras con un promedio de pH de 7,9. Aguas abajo, en las estaciones Río Lluta en Tocontasi y Río Lluta en Panamericana, las aguas muestran valores de pH promedio de 7,3 y 8 respectivamente.

Cabe mencionar, que la estación Río Lluta en Tocontasi es la única que muestra una tendencia a la disminución de pH, con un valor de 8,29 medido en agosto del 2010 y valores entre 5,12 y 5,8 medidos en las últimas campañas de los años 2018 y 2019.

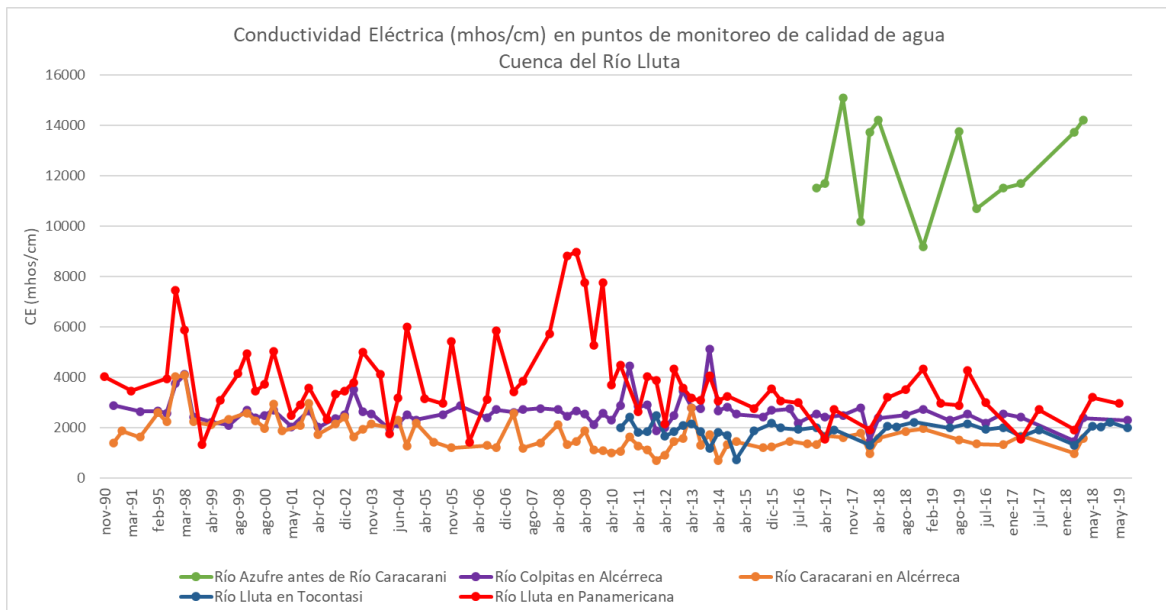
#### ***Conductividad Eléctrica (CE)***

Los registros de conductividad eléctrica en la cuenca se concentran principalmente entre los 1.000 y 6.000 mhos/cm, a excepción de las aguas monitoreadas en la estación Río Azufre antes del Río Caracarani con mediciones que alcanzan los 15.000 mhos/cm (Figura 4.7). La mayor variabilidad entre los registros se presenta en la estación Río Lluta en Panamericana. No se observa tendencia al aumento ni a la disminución de este parámetro en las estaciones de la cuenca.



Fuente: elaboración propia a partir de Estaciones Calidad de Agua DGA.

**Figura 4.6 Evolución temporal de pH en aguas superficiales, estaciones DGA, cuenca del Río Lluta, periodo 1990-2019.**

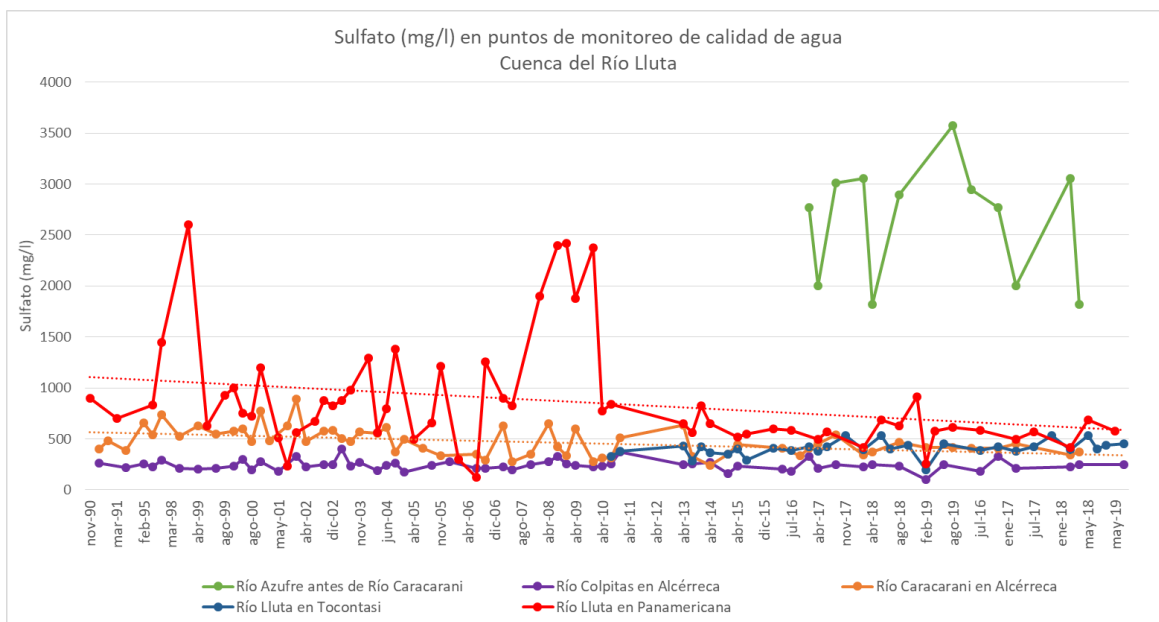


Fuente: elaboración propia a partir de Estaciones Calidad de Agua DGA.

**Figura 4.7 Evolución temporal de conductividad eléctrica en estaciones de la cuenca del Río Lluta, periodo 1990-2019.**

### Sulfato

La concentración de sulfato en las aguas de la cuenca, varía entre los 242 y 2.643 mg/l como valores promedio en las estaciones de la cuenca, siendo la estación Río Colpitas en Alcérreca la que presenta la menor concentración y las aguas en la estación Río Azufre antes del Río Caracarani las que tienen la mayor concentración de este elemento (Figura 4.8). La mayor variabilidad se presenta en las estaciones de la cabecera y a la salida de la cuenca. En la estación Río Lluta en Panamericana se observa que este parámetro mostraría tendencia a la disminución, sin embargo esto puede deberse principalmente a los altos valores registrados en dos periodos previos año 2010.

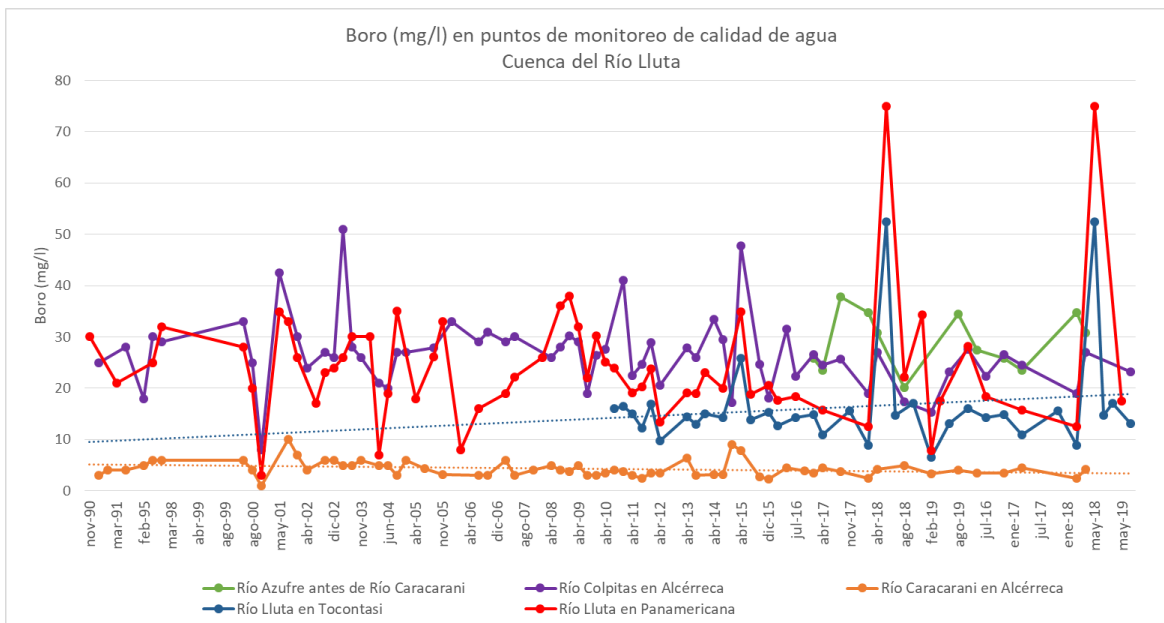


Fuente: elaboración propia a partir de Estaciones Calidad de Agua DGA.

**Figura 4.8 Evolución temporal de sulfato (mg/l) en aguas superficiales, estaciones DGA, cuenca del Río Lluta, periodo 1990-2019.**

### Boro

La concentración de boro en las aguas de la cuenca supera el límite de concentración establecido para las normas de riego y agua potable (0,75 mg/l). Este parámetro varía entre 4,3 y 29 mg/l como valores promedio en las estaciones de la cuenca, siendo la estación Río Azufre antes de Río Caracarani la que presenta el mayor contenido (Figura 4.9). La estación Río Lluta en Tocontasi, muestra una tendencia al aumento en este elemento, mientras que las otras estaciones se mantienen estables según su evolución temporal, a pesar que muestran una gran variabilidad en los registros.



Fuente: elaboración propia a partir de Estaciones Calidad de Agua DGA.

**Figura 4.9 Evolución temporal de boro (mg/l) en aguas superficiales, estaciones DGA, cuenca del Río Lluta, periodo 1990-2019.**

La mala calidad de las aguas en la cuenca es una condición natural y permanente que no obedece a eventos puntuales de contaminación. Sin desmedro a lo anterior, y a pesar de que no se cuenta con información previa que relacione la calidad con eventos hidrometeorológicos extremos, se prevé que durante este tipo de eventos la condición de mala calidad se vea intensificada, principalmente en el aumento de parámetros físicos como turbidez, sólidos suspendidos, entre otros.

### **Geoquímica de sedimentos**

En el estudio de Baeza (2010), se hace un análisis geoquímico y mineralógico de los sedimentos fluviales activos y preindustriales de la cuenca de drenaje del río Lluta. En este estudio, los resultados de los análisis químicos y mineralógicos permiten la caracterización geoquímica de los sedimentos y la evaluación de la influencia de factores naturales (composición litológica del basamento rocoso, los efectos de dilución y cambios de pH generado en la confluencia con afluentes, alta evaporización, zonas de alteración hidrotermal, depósitos de azufre, hidrodinámica del río y bofedales) y antropogénicos, (actividades mineras y agroindustriales, y la mayor urbanización).

A escala regional, los sedimentos del sistema fluvial del río Lluta y la comparación con parámetros ambientales revela altos niveles de contaminación por concentración de As en los sedimentos. La alta presencia de minerales de uranio asociada a sedimentos de todo el sistema fluvial muestra que es una característica regional y que probablemente hay zonas mineralizadas con este elemento en la zona de alta cordillera.

En el río Lluta, la caracterización geoquímica permite observar una fuente puntual de contaminación aportadas principalmente desde la ex mina de azufre Aguas Calientes,

aledaña al cauce del río Azufre; el pH ácido del río Azufre y su aumento abrupto luego de la confluencia con la Qda. Allane; una alta disponibilidad de detritos carbonatados asociados a la presencia de las unidades geológicas carbonáticas; la presencia de numerosos prospectos de manganeso en la zona; la presencia de zonas mineralizadas al oeste del río Lluta; la dilución debido a la mezcla de las aguas del río Lluta con las aguas de las Qdas. Allane, Putre y Socoroma; la salinidad de los suelos en la parte baja del sistema fluvial del río Lluta; en particular, las salmueras vertidas al río Lluta por la desalinizadora ESSAT S.A. de origen antropogénico; el aporte de hierro proveniente de la línea ferroviaria del antiguo tren Arica-La Paz, la importancia de óxidos/hidróxidos de hierro en el transporte de elementos en la carga en suspensión del cauce principal del río Lluta; la contaminación orgánica por aporte difuso de aguas servidas de las localidades y la intensa agricultura desarrollada en el tramo bajo del río Lluta; la importante actividad agrícola de la zona; y, la abundancia de prospectos mineros de cobre y uranio.

La composición de los sedimentos de los sectores asociados a las Qdas. Putre y Socoroma reflejan características químicas asociadas a la composición litológica de la zona (basáltica a riolítica). También, a partir de las concentraciones de elementos estudiadas se puede observar la acumulación de sales debido a la alta evaporación en la zona y la presencia de salares en la alta cordillera, la presencia de cuerpos mineralizados asociados principalmente a la Zona de Alteración Hidrotermal Putre-Vilañuñumani aguas arriba, el aporte de los bofedales ricos en materia orgánica ubicados en la alta cordillera y el aporte menor antropogénico generado por los poblados de Putre y Socoroma.

Además, el sistema fluvial del río Lluta se caracteriza por altas concentraciones de As, muy por encima de los estándares medio-ambientales. Adicionalmente, se observó un fuerte control ejercido por óxidos y/o hidróxidos de hierro en el transporte de metales pesados.

#### **4.1.5 Fuentes de contaminación**

A continuación, se listan las posibles fuentes de contaminación de las aguas superficiales de la cuenca del río Lluta, entre los que se cuenta faenas e instalaciones mineras, pasivos ambientales mineros, residuos antrópicos y domiciliarios y fuentes de contaminación natural.

##### **Faenas e instalaciones mineras**

DGA (2008b) analiza el catastro de fuentes controladas publicado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios con respecto al cumplimiento del DS 90 o del DS 46, según el cual no hay establecimientos industriales que viertan sus riles al Río Lluta. No obstante, identifican dos descargas antrópicas puntuales:

- La descarga de aguas servidas de la localidad de Putre, en la cual DGA (2008b) observa en terreno que la contaminación orgánica es baja y que la dilución

permite que aguas abajo el impacto sea prácticamente nulo. El impacto de esta descarga en el río Lluta es muy pequeño, debido a que hay alrededor de 6 km antes de que la quebrada Putre descargue en el río.

- La descarga de RIL de la planta desalinizadora Desalari, la cual según el EIA de la Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá S.A descarga de aguas residuales de la planta desalinizadora se realiza directamente al mar (en la zona de la desembocadura del Lluta), sin embargo, DGA (2008b) observó una descarga adicional al río aguas arriba de la estación Lluta en Panamericana.

Según el registro de instalaciones mineras del SERNAGEOMIN hay un botadero perteneciente a la "Mina Zorrito" clasificado como Depósito Residuo Minero Masivo - Estériles en estado activo. En la Figura 4.10 se presenta la ubicación de las instalaciones mineras en la cuenca.

### **Pasivos Ambientales Mineros**

En general la región se caracteriza por la extracción de minerales no metálicos, tales como la diatomita y boro. En la cuenca del río Lluta la actividad minera está dada principalmente por la Planta de Proceso El Aguila de la empresa Quiborax (Ulexita y boro), la mina Carol y planta de Ymeris Chile S.A. (diatomita), y la mina San Eduardo y planta de la Sociedad Legal Minera Macarena (bentonita). Y en el sector peruano del río Azufre se encuentra el yacimiento aurífero de Paucamarca.

Según el Catastro Nacional del Depósitos de Relaves consultado el 22-07-2020 la cuenca del Lluta no cuenta con minas que estén en alguna de sus categorías. Sin embargo, el estudio de (MOP, 1968) y otros (Baeza, 2010; DGA, 2008b) indican una contaminación antrópica de metales pesados de los relaves dispuestos por la azufrera Azacop en los años 60, que llevó a desarrollar un informe al respecto, y el desvío del río Azufre y la construcción de pretiles de contención a fines de los años 60, para la mitigación de la calidad del agua del río Lluta.

### **Residuos antrópicos y domiciliarios**

El humedal de la desembocadura del río Lluta, categorizado como Santuario de la naturaleza, es un atractivo turístico de la región. Este sitio se ha visto afectado por la contaminación antrópica producto de la expansión urbana que impacta de manera directa, además de la gran cantidad de visitantes que ingresan al santuario dejando residuos en su interior.

Otro aspecto importante es la descarga de riles domiciliarios e industriales, y la contaminación difusa proveniente de insumos agrícolas como los pesticidas y

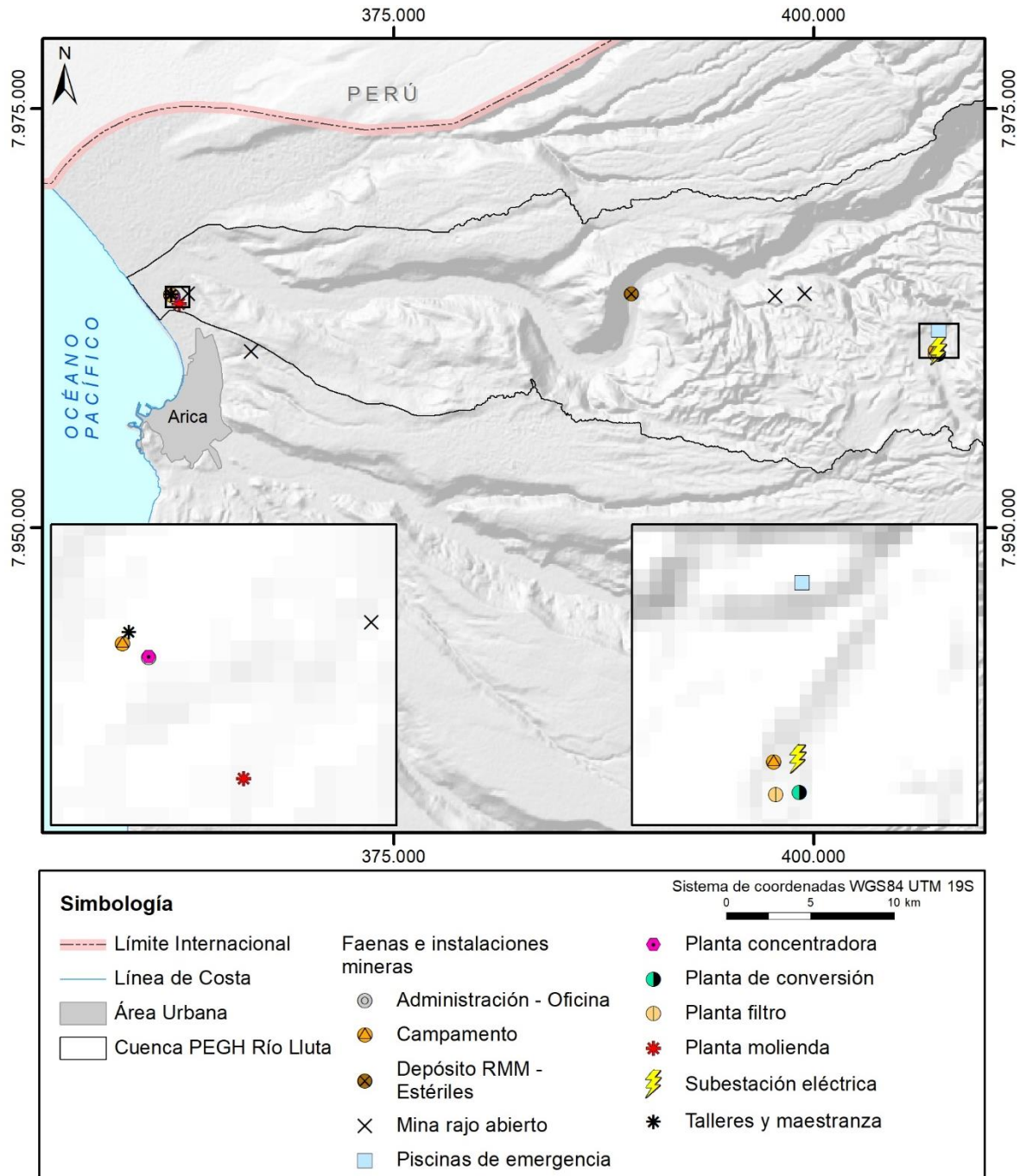
fertilizantes. Estos se han observado en los restos de envases que han quedado después de la bajada del río, lo cual ha sido reportado por Chile Indómito<sup>17</sup>.

### **Fuentes de contaminación natural**

La geología y mineralogía presente en la parte alta de la cuenca es la principal fuente natural de contaminación de las aguas superficiales de la cuenca. La lixiviación superficial y volumétrica de la litología del sector, la solubilización de las sales al paso por los salares, la concentración de compuestos debido a la evaporación y la lixiviación de compuestos de origen volcánico en la cuenca ocasionan que las aguas superficiales se vean afectadas en parámetros tales como B, Mn, As, Cl, pH, entre otros (DGA, 2004), categorizándose como aguas de mala calidad y contaminadas naturalmente, superando en gran cantidad de elementos a los límites establecidos en las normas referenciales de calidad de agua (como por ejemplo NCh 1.333 y NCh 409).

---

<sup>17</sup> Chile Indómito [en línea] <https://www.chileindomito.cl/humedal-del-rio-lluta-un-santuario-de-la-naturaleza/> (visitado por última vez el 25/05/2021)



Fuente: elaboración propia con datos del SERNAGEOMIN.

**Figura 4.10 Faenas e Instalaciones Mineras en la Cuenca del Río Lluta.**

#### 4.1.6 Oferta de Agua Superficial

La oferta de agua superficial se basa principalmente en la precipitación que cae en las partes altas de la cuenca. Para obtener una estimación de oferta de agua superficial se incluyen igualmente las pérdidas relacionadas a la evapotranspiración natural y recarga desde el río hacia el acuífero. Los valores presentados a continuación corresponden a

aquellos obtenidos en el escenario histórico de la modelación, cuyos resultados se incluyen en detalle en la sección 7.3.3 del Anexo H.

### **Precipitaciones**

Según el estudio de la DGA (2016), la precipitación media anual en la cuenca aumenta gradualmente de 0 a 1 mm/año entre la desembocadura (estación DGA - Arica Oficina - BNA 01310018 en la cuenca del río San José) y el sector de Poconchile, a una altura de 500 m s.n.m. Luego, sigue subiendo hasta valores cercanos a los 300 mm/año en el sector alto de la cuenca, a más de 4.500 m s.n.m. La precipitación media en la cuenca, obtenida a partir del producto CR2MET v2 equivale a 22.260 l/s para el área total de la cuenca.

La precipitación media anual de la cuenca se presenta en un periodo lluvioso de diciembre a marzo en el cual ocurren más del 90% de la precipitación anual y un periodo seco entre abril y noviembre con precipitaciones esporádicas.

La oferta por precipitación está dada casi en su totalidad en la subcuenca del río Lluta Alto, considerándose en términos generales como despreciable para la subcuenca del río Lluta Bajo. Esto último se sustenta con la información de la estación meteorológica Lluta de la DGA, la cual estuvo en funcionamiento entre los años 1966 y 1993, sólo registró 2 datos superiores a cero en dicho periodo, con un valor de 5 mm en febrero de 1967 y 0,5 mm en febrero de 1969.

### **Evapotranspiración**

La evapotranspiración asociada a terrenos naturales (no agrícolas), corresponde a una de las principales pérdidas naturales en la cuenca, que impiden que el agua que cae como precipitación, pase a formar parte de la escorrentía o llegue a recargar el sistema acuífero.

Los resultados de la modelación en periodo histórico han permitido determinar que la evapotranspiración natural en la cuenca corresponde a 18.960 l/s.

### **Flujo neto río-acuífero**

Los resultados de la modelación hidráulica, presentados en la sección 7.3.3 del Anexo H señalan que el flujo neto de recarga desde el río hacia el acuífero corresponde a 1.000 l/s, para el acuífero ubicado en la subcuenca del río Lluta Bajo, incluido en la modelación hidráulica.

### **Resultado Oferta de Agua Superficial**

Finalmente, la oferta media de agua superficial de la cuenca del río Lluta sería de unos 2.300 l/s, tal como se desglosa en la Tabla 4.7.

**Tabla 4.7 Resumen de la oferta de agua superficial para la cuenca del río Lluta.**

Cuenca	Precipitación (l/s)	Pérdidas (l/s)		Oferta (l/s)	Oferta (m <sup>3</sup> /año)
		Evapotranspiración	Infiltración neta al acuífero		
Río Lluta	22.260	18.960	1.000	2.300	72.532.800

Fuente: elaboración propia.

**4.1.7 Derechos concedidos**

A continuación, se presenta el análisis de los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) superficiales otorgados en la cuenca del río Lluta. Los resultados son presentados en función de las siguientes variables:

- DAA otorgados según tipo de solicitud
- DAA otorgados según tipo de Derecho y ejercicio del Derecho

Para el análisis se utilizó la base de datos "Planilla Nacional de Derechos de Aprovechamiento de Aguas" consultada con fecha abril del año 2020.

Cabe mencionar que los resultados que se presentan a continuación consideran la equivalencia genérica 1 acción=1 l/s indicada en el estudio de la DGA "Diagnóstico Nacional de Organizaciones de Usuarios" S.I.T. N.º 422, agosto 2018 (DGA, 2018b).

En la Tabla 4.8 se muestra el total de DAA superficiales otorgados en la cuenca del río Lluta.

**Tabla 4.8 DAA superficiales y caudal medio anual otorgados en la cuenca del río Lluta**

Cuenca	Naturaleza del Agua	Cantidad	Caudal Total (l/s)
Río Lluta	Superficial	779	27.519,21

Fuente: elaboración propia.

**DAA otorgados según tipo de solicitud**

En la Tabla 4.9 se observa la distribución de los DAA superficiales de acuerdo al tipo de solicitud, el cual incluye las categorías Nuevos Derechos (ND), Solicitudes de Regularización (NR), Derechos de Usuarios Antiguos (UA) y Traslado del Ejercicio de los Derechos (VT).

**Tabla 4.9 DAA superficiales otorgados y caudal otorgado según tipo de solicitud en la cuenca del río Lluta**

Tipo de Solicitud*	Cantidad		Caudal (l/s)	
	Absoluto	Porcentual	Absoluto	Porcentual

ND	13	1,67%	9.888,98	35,93%
NR	74	9,50%	799,42	2,90%
UA	691	88,70%	15.215,91	55,29%
VT	1	0,13%	1.614,90	5,87%
<b>Total</b>	<b>779</b>	<b>100,00%</b>	<b>27.519,21</b>	<b>100,00%</b>

\*ND: Nuevos Derechos; NR: Solicitudes de Regularización; UA: Derechos de Usuarios Antiguos; VT: Traslado del Ejercicio de los Derechos.

Fuente: elaboración propia.

Según la Tabla 4.9, la mayor parte del caudal otorgado en la cuenca del río Lluta está asociada a solicitudes de tipo UA (55 %) seguido por solicitudes de tipo ND (36 %).

### **DAA otorgados según tipo de Derecho y ejercicio del Derecho**

En la Tabla 4.10 se observa la distribución de los DAA superficiales otorgados según el tipo de DAA y el ejercicio del DAA.

**Tabla 4.10 DAA superficiales otorgados según tipo y ejercicio del derecho en la cuenca del río Lluta**

Tipo de DAA y Ejercicio del DAA	Cantidad		Caudal (l/s)	
	Absoluto	Porcentual	Absoluto	Porcentual
<b>Consuntivo</b>	<b>775</b>	<b>99,49%</b>	<b>21.838,80</b>	<b>79,36%</b>
Eventual y Continuo	7	0,90%	4.343,51	15,78%
Eventual y Discontinuo	1	0,13%	1.614,90	5,87%
Permanente y Continuo	115	14,76%	955,30	3,47%
Permanente y Discontinuo	11	1,41%	23,47	0,09%
Permanente y Alternado	641	82,28%	14.901,61	54,15%
<b>No Consuntivo</b>	<b>4</b>	<b>0,51%</b>	<b>5.680,42</b>	<b>20,64%</b>
Eventual y Discontinuo	1	0,13%	1.586,42	5,76%
Permanente y Continuo	3	0,39%	4.094,00	14,88%
<b>Total</b>	<b>779</b>	<b>100,00%</b>	<b>27.519,21</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: elaboración propia.

Según la Tabla 4.10, la mayor parte de los DAA superficiales en la cuenca del río Lluta son de tipo consuntivo y de ejercicio permanente y alternado (54 % del caudal otorgado).

### **Georreferenciación de los DAA**

De la base de datos, el 11 % de los DAA superficiales en la cuenca del río Lluta cuentan con información necesaria para su georreferenciación (coordenadas UTM, Datum y Huso), como se observa en la Tabla 4.11.

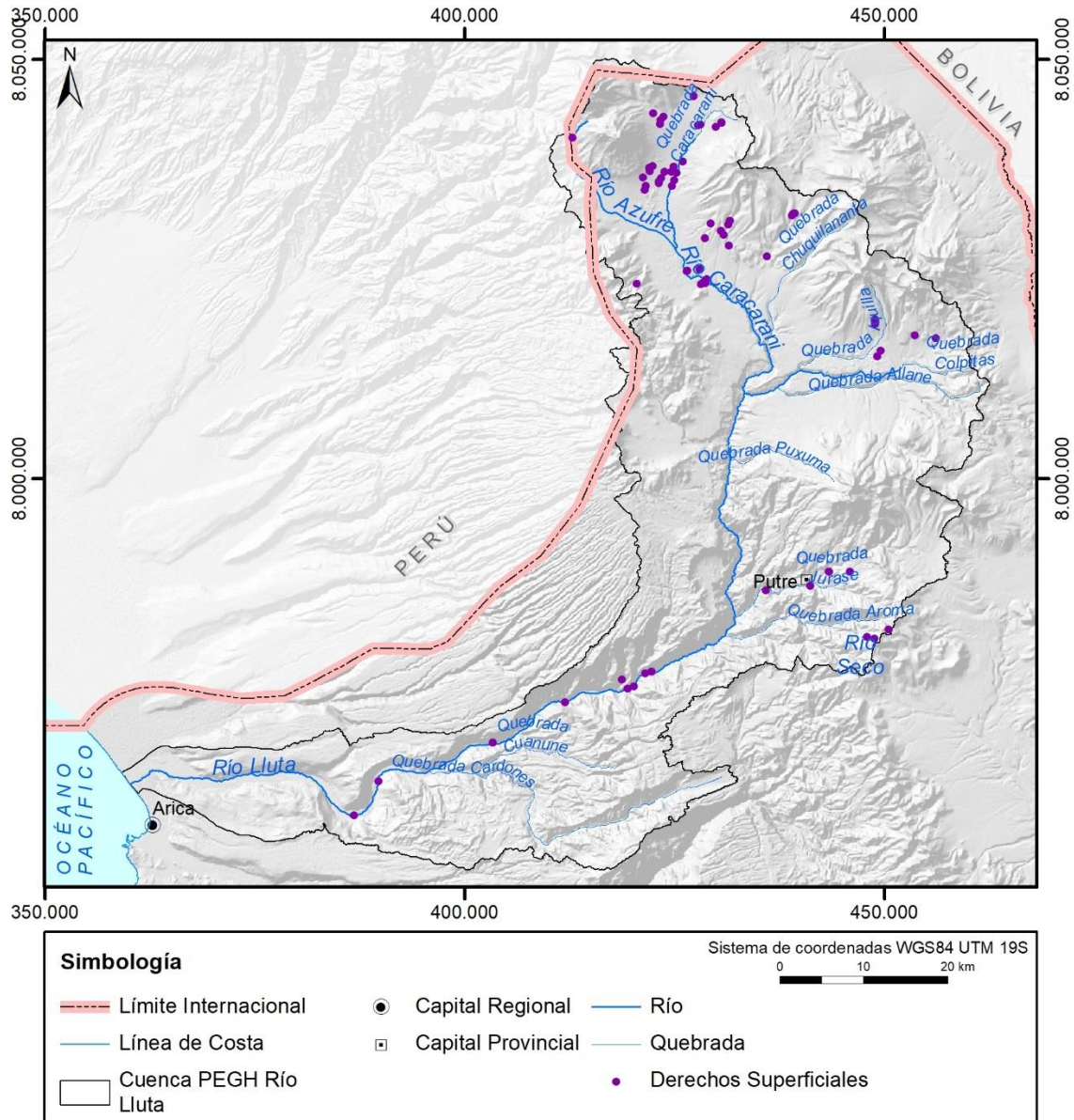
**Tabla 4.11 Total de DAA superficiales georreferenciados y no georreferenciados en la cuenca del río Lluta**

Naturaleza del Agua	DAA Georreferenciado	DAA no Georreferenciado
---------------------	----------------------	-------------------------

	Absoluto	Porcentual	Absoluto	Porcentual
Superficial	82	11%	697	89%

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4.11 se muestra la ubicación geográfica de los puntos de captación asociados a cada DAA superficial en la cuenca del río Lluta.



Fuente: elaboración propia en base a catastro público de DAA, consultado en abril 2020.

**Figura 4.11 Ubicación geográfica de los DAA superficiales en la cuenca del río Lluta.**

## 4.2 Agua subterránea (SHACs)

En los siguientes puntos, se hace referencia a las fuentes de agua, específicamente las de tipo subterráneo. Se indican los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC), la oferta de agua subterránea en términos de stock, recarga y niveles, la calidad del agua subterránea, la vulnerabilidad de acuíferos y los derechos de aprovechamiento de agua concedidos dentro de la cuenca del río Lluta.

### 4.2.1 Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC)

En los siguientes puntos se identifican, se indican los criterios de definición, y se describen los SHAC ubicados en la cuenca del río Lluta.

#### **Identificación**

En el ámbito de la administración de recursos hídricos se han definidos sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC). En la cuenca del río Lluta se ha determinado un solo SHAC, el cual se presenta en la Tabla 4.12, junto con información importante tal como su superficie y estado de explotación. Su distribución geográfica se presenta en la Figura 4.12.

**Tabla 4.12 Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en la cuenca del río Lluta.**

Región	Subcuenca	SHAC	Área (km <sup>2</sup> )	Situación de explotación de aguas subterráneas según DGA
Arica y Parinacota	Río Lluta bajo	Lluta bajo	974	Área de restricción

Fuente: elaboración propia a partir de Mapoteca DGA.

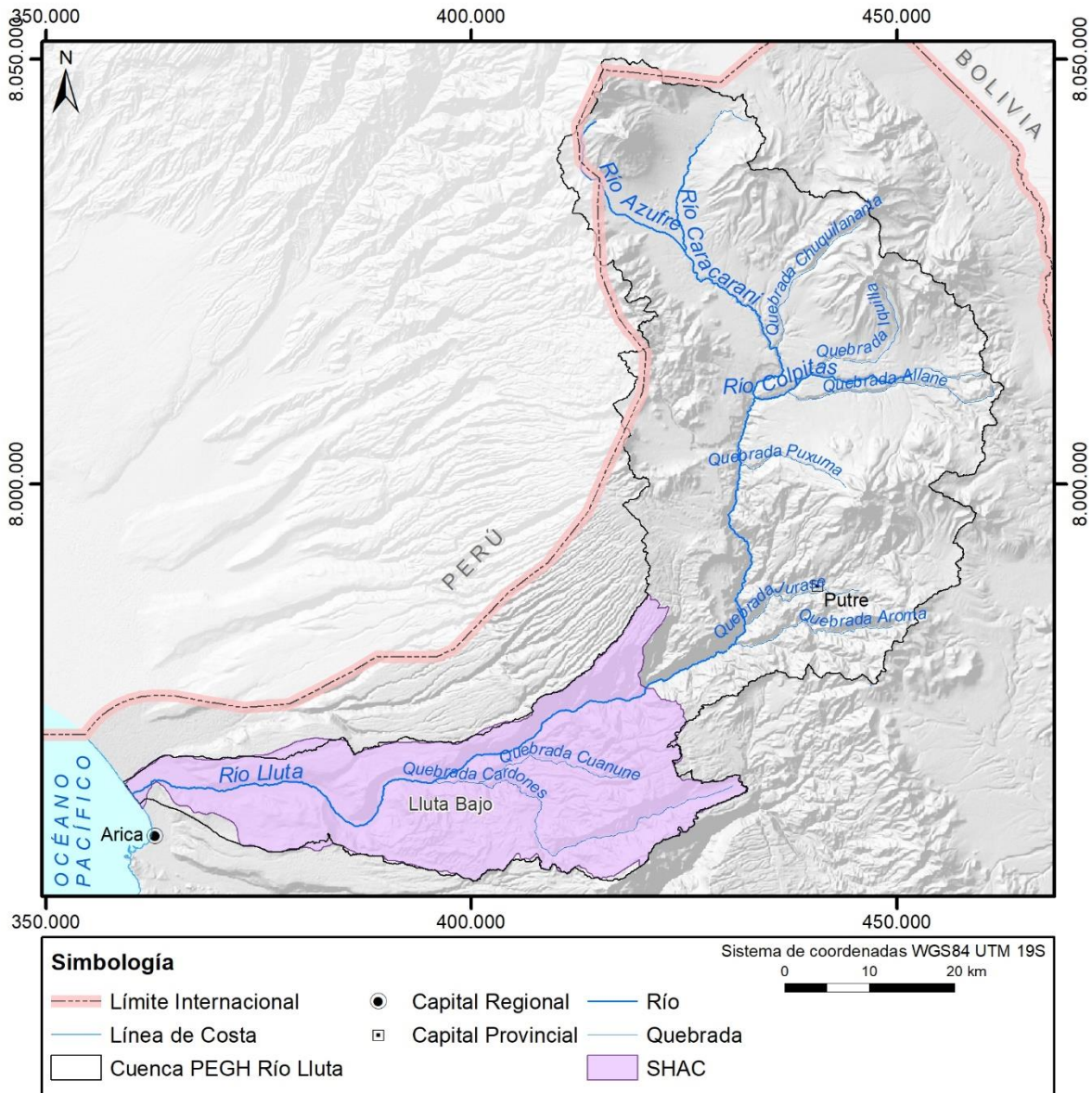
#### **Criterios de definición**

Un Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común (SHAC) es definido como “el acuífero o parte de un acuífero cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión en forma independiente” (DGA, 2014c).

La definición de los SHAC por parte de la DGA, ha sido realizada con el objetivo de lograr un aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos, utilizando además como marco legal lo establecido en el Código de Aguas y en el Reglamento de Aguas Subterráneas, debiendo gestionar las solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas, ya sea para constituir las como derechos definitivos o provisionales, o denegarlas en mérito de los antecedentes administrativos, técnicos y legales correspondientes.

### Descripción SHAC Lluta Bajo

El SHAC Lluta Bajo corresponde al acuífero principal de la Cuenca del Río Lluta, subcuenca del Río Lluta Bajo. Este abarca un área de 974 km<sup>2</sup>, y se extiende aproximadamente entre la localidad de Chironta por el este hasta la desembocadura.



Fuente: elaboración propia a partir de Mapoteca DGA.

**Figura 4.12 Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en la cuenca del río Lluta.**

## **Restricciones**

Para la oferta de aguas subterráneas en la cuenca del Río Lluta, se tienen las siguientes restricciones:

### ***Áreas de Restricción***

El SHAC Lluta Bajo fue declarado como Área de Restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas el año 2012, resolución basada en el Informe Técnico DARH N°147 de la DGA. En la Figura 4.13 se presentan las áreas de restricción para la Cuenca del Río Lluta.

El Informe Técnico DARH N°147 (20 de julio de 2012), del Departamento de Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas (DGA, 2012a), concluyó que “la demanda de aguas subterráneas comprometida al 30 de junio de 2011, supera al volumen sustentable, estimándose que existe riesgo de grave disminución del acuífero con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él, procediendo de acuerdo al artículo 65 del Código de Aguas y el artículo 31 letra b) de la Resolución D.G.A. N°425, de 2007, debiendo ser declarado como área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas”.

### ***Acuífero Protegidos***

En la subcuenca del Río Lluta Alto, hay tres sectores definidos como “Acuíferos Protegidos que alimentan vegas y bofedales de la XV región”, cuya información se presenta en la Tabla 4.13.

**Tabla 4.13 Acuíferos protegidos en la cuenca del río Lluta.**

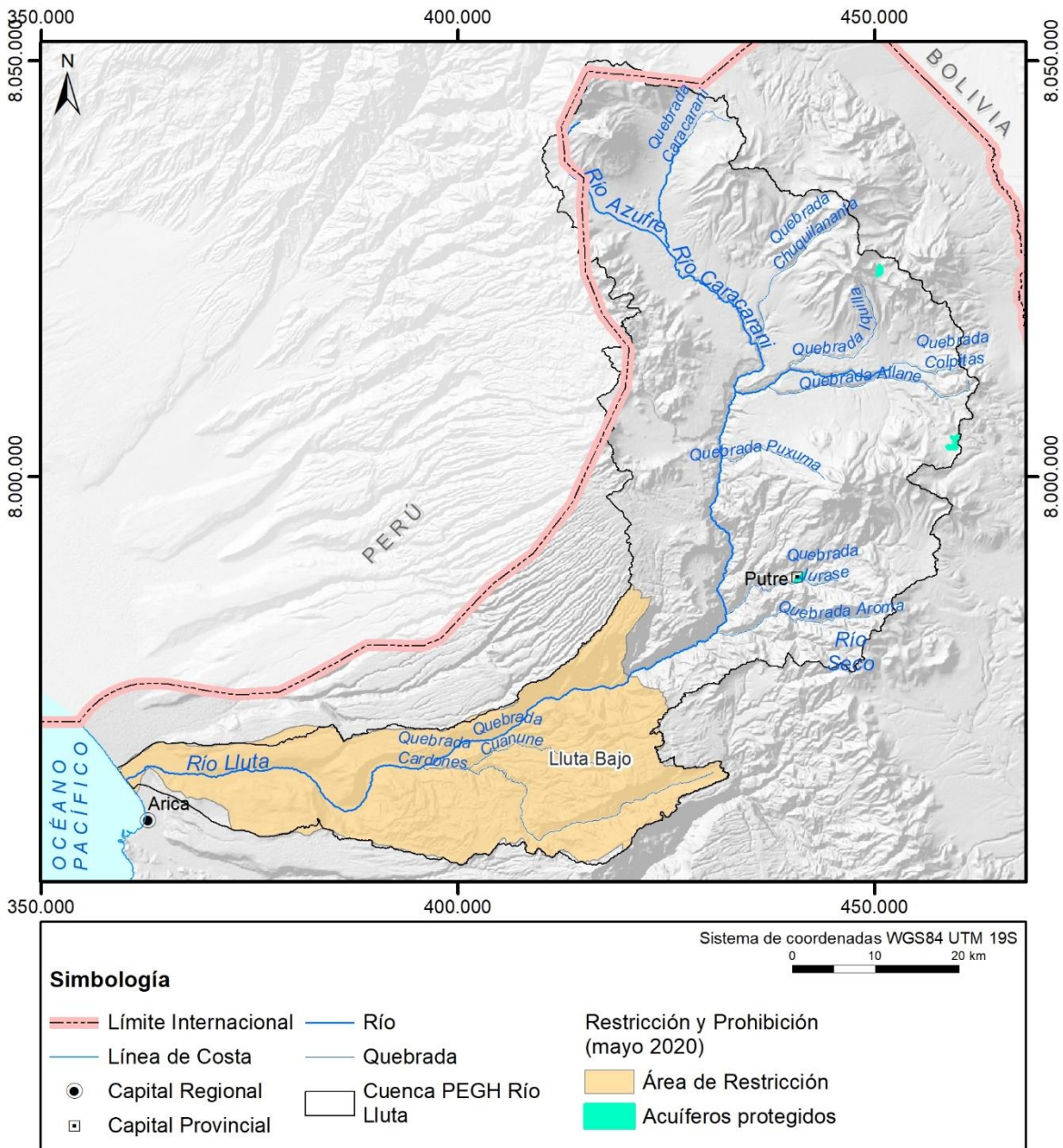
<b>Subcuenca</b>	<b>Vega</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Resolución Final</b>
Río Lluta Alto	Iscajoco	0,45	N°909/28-11-1996
Río Lluta Alto	Japocota	0,79	N°909/28-11-1996
Río Lluta Alto	Pucarani	0,5	N°909/28-11-1996

Fuente: elaboración propia a partir de Mapoteca DGA.

La determinación de estas tres áreas forma parte del estudio “Identificación y ubicación de Áreas de Vegas y Bofedales de las Regiones I y II” (DGA, 1993a) y “Delimitación de Acuíferos de Vegas y Bofedales de las Regiones de Tarapacá y Antofagasta” (DGA, 1996) que fueron aprobados mediante la Resolución exenta DGA N°2180, del 29 de agosto de 1996.

La definición y delimitación de estas zonas que corresponden a acuíferos que alimenten vegas y bofedales de las Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, tiene el propósito de resolver fundamentadamente solicitudes de autorización de exploraciones de aguas subterráneas en dichas zonas, como de entender dichas áreas como zonas de prohibición para mayores extracciones que las ya autorizadas o para la

constitución de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas. Además, tienen el objetivo de proteger los humedales existentes, ya que ellos sustentan ecosistemas únicos y frágiles que se hace necesario conservar y preservar, sin perjuicio del uso consuetudinario económico y cultural que efectúan en ellos las diversas comunidades indígenas.



Fuente: elaboración propia en base a Mapoteca DGA.

**Figura 4.13 Área de restricción y acuíferos protegidos en la cuenca del río Lluta.**

#### 4.2.2 **Stock, recarga y niveles**

La oferta de agua subterránea está dada por la recarga al acuífero. La recarga en la subcuenca del Lluta Alto se produce por la infiltración de las precipitaciones, mientras que en la subcuenca del río Lluta Bajo el acuífero se recarga por el aporte del río Lluta, principalmente por las crecidas del cauce durante el invierno altiplánico y, en menor proporción por el agua que se infiltra del retorno del regadío en los campos de cultivo.

La falta de información hidrogeológica en la subcuenca del Lluta Alto, no permite estimar de buena manera la oferta del recurso subterráneo, ya que sólo se cuenta con información de una cantidad menor de prospecciones geofísicas que se han efectuado principalmente en el río Colpitas, sin contar con información estratigráfica y ensayos hidráulicos que permitan determinar la geometría ni las propiedades hidráulicas del acuífero.

Sin desmedro a la anterior, de acuerdo a las características hidrogeológicas descritas para este sector, las unidades hidrogeológicas de mayor potencial están dadas en los depósitos aluviales y fluviales del Holoceno cuya extensión es limitada al entorno de los ríos, quebradas y bofedales, con un espesor máximo que no superaría los 10-15 m de profundidad; por los depósitos y rocas de la Formación Visviri; y por las lavas andesíticas y dacíticas que tienen una permeabilidad primaria muy baja a nula, pero que por procesos de fracturamiento presentan una importancia hidrogeológica media-alta, pudiendo originar acuíferos colgados y/o recargar a otras unidades hidrogeológicas. Las unidades hidrogeológicas de la subcuenca del río Lluta Alto se recargan de las aguas infiltradas de la precipitación y se almacenan en las rocas fracturadas de los complejos volcánicos, estos acuíferos fracturados con sistemas de fracturas conectadas pueden crear acuíferos colgados cuyas aguas afloran en vertientes, creando bofedales, quebradas y ríos y/o recargan los depósitos glaciales y a la Formación Visviri. Las aguas que dan origen o alimentan algunos de los cursos de agua superficiales pasarían a formar parte de la esorrentía superficial.

En la cabecera de la subcuenca del río Lluta Alto, las líneas de flujo subterráneo evidencian como las unidades de mayor importancia hidrogeológica alimentan los cauces superficiales. Después de la confluencia de los ríos Lluta y Colpitas, los recursos hídricos fluyen superficialmente por el río Lluta sobre unidades hidrogeológicas de baja permeabilidad. De este modo, se presume que la mayor parte de los recursos hídricos subterráneos pasen a formar parte de los recursos hídricos superficiales, por lo que estarían siendo contabilizados como la oferta de agua superficial a la salida de la subcuenca, y los recursos subterráneos restringidos a los depósitos fluviales y aluviales de los ríos que tendrían un escaso espesor, no conformarían acuíferos de importancia. Sin embargo, cabe destacar que se requiere contar con más información hidrogeológica para determinar la importancia de estos recursos y su oferta real.

Para los fines del presente estudio, en la cuenca del río Lluta el desarrollo del acuífero se restringe principalmente a la subcuenca del río Lluta Bajo y es en este sector donde se estimarán los recursos hídricos subterráneos disponibles.

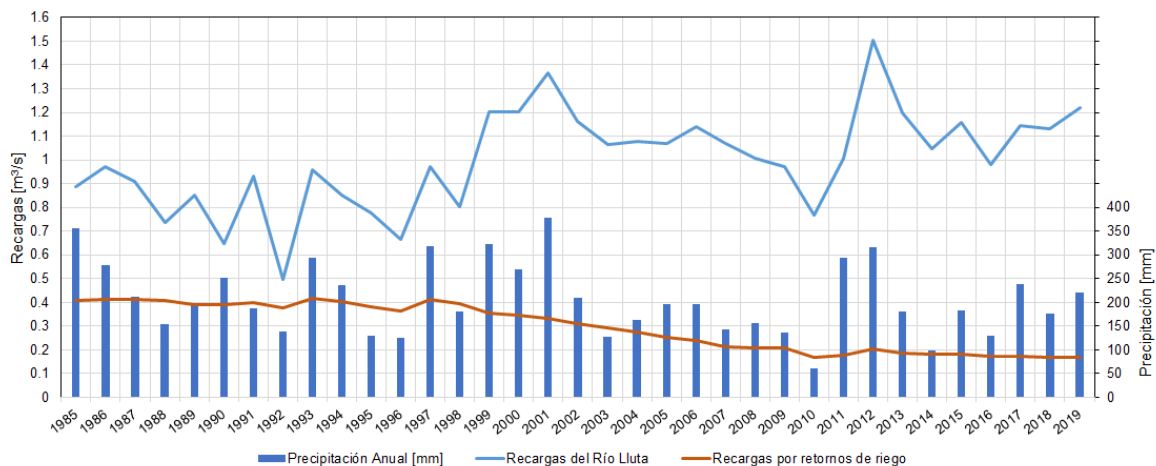
## **Volumen embalsado**

Se ha estimado el volumen almacenado del acuífero del Lluta Bajo a partir de los resultados de la modelación hidrogeológica para el periodo 1985 a 2019. Durante dicho periodo, el acuífero presenta un volumen promedio de 1.240 hm<sup>3</sup>, valor que oscila entre 1.210 y 1.260 hm<sup>3</sup> según el año estudiado.

Respecto a la variación de almacenamiento del acuífero del Lluta Bajo, en el balance hídrico subterráneo (Figura 7.10 de Anexo H) se observa una clara oscilación entre embalse y desembalse del sistema subterráneo con valores máximos de 0,25 m<sup>3</sup>/s en ambos sentidos. Esta oscilación está en clara sincronía con el aumento y disminución de la infiltración del río, es decir, en los momentos de mayor infiltración desde el río, el acuífero se recupera. Y en los momentos de menor aporte desde el río, el acuífero aporta al sistema desde su volumen almacenado.

## **Recarga**

Respecto a los valores promedio de recargas hacia el modelo subterráneo, donde 1 m<sup>3</sup>/s corresponde a percolación en el lecho del río, y 0,3 m<sup>3</sup>/s a retornos de riego; éstas presentan una evolución temporal tal como se muestra en la Figura 4.14. Es de destacar el descenso de las recargas por retornos por riego en el tiempo, lo cual es directa consecuencia de la disminución en las áreas de riego, que se evidenció al analizar los Censos Agropecuarios. Por su parte la infiltración del río marca un ascenso en el tiempo, con peaks importantes, donde se puede destacar los valores alcanzados en el año 2001 y 2012, año de importantes crecidas, dadas las altas precipitaciones medias anuales en la cuenca (aproximadamente 400 mm y 300 mm, respectivamente).



Fuente: elaboración propia.

**Figura 4.14 Evolución histórica de las recargas en el Acuífero de Lluta Bajo, desglose por infiltración del río y retornos de riego**

La oferta de agua subterránea en la subcuenca del río Lluta Bajo, está dada por la recarga del acuífero producto de la infiltración del río Lluta especialmente durante los eventos de crecidas del cauce durante el invierno Altiplánico y por la infiltración de las aguas de riego en los campos de cultivo. Cabe destacar, que el volumen almacenado de agua en el acuífero no se considera parte de la oferta.

### ***Infiltración del río Lluta***

La recarga promedio anual producto de la infiltración neta desde el río al acuífero, estimada a través del modelo integrado, resultados que se detallan en la sección 7.3.3 del Anexo H, corresponde a 1.000 l/s, para el periodo histórico entre los años 1985 y 2019. Se considera que el acuífero profundo es recargado por el río Lluta mayormente desde los tramos aguas arriba de Chacabuco, donde no se extiende la capa de toba confinante. Esto se sustenta con que el gradiente del agua subterránea del acuífero profundo es mayor que el del lecho del río en los tramos aguas abajo de Chacabuco y por el contenido de nitrato muy alto en el acuífero somero comparado con el del acuífero profundo y el agua superficial. Esto indica que el acuífero somero sería recargado por el agua superficial contaminada por fertilizantes y que el nitrato se acumula en el acuífero.

### ***Recarga por retorno de riego***

La recarga desde las zonas de riego estimada a partir del modelo integrado, cuyos resultados que se detallan en la sección 7.3.3 del Anexo H, señalan que las pérdidas por riego hacia el acuífero corresponden a 300 l/s para el escenario histórico entre los años 1985 y 2019.

Cabe recalcar que, al modificarse el consumo agrícola, este valor de oferta también se ve afectado por lo que se considera un valor variable en función de la demanda.

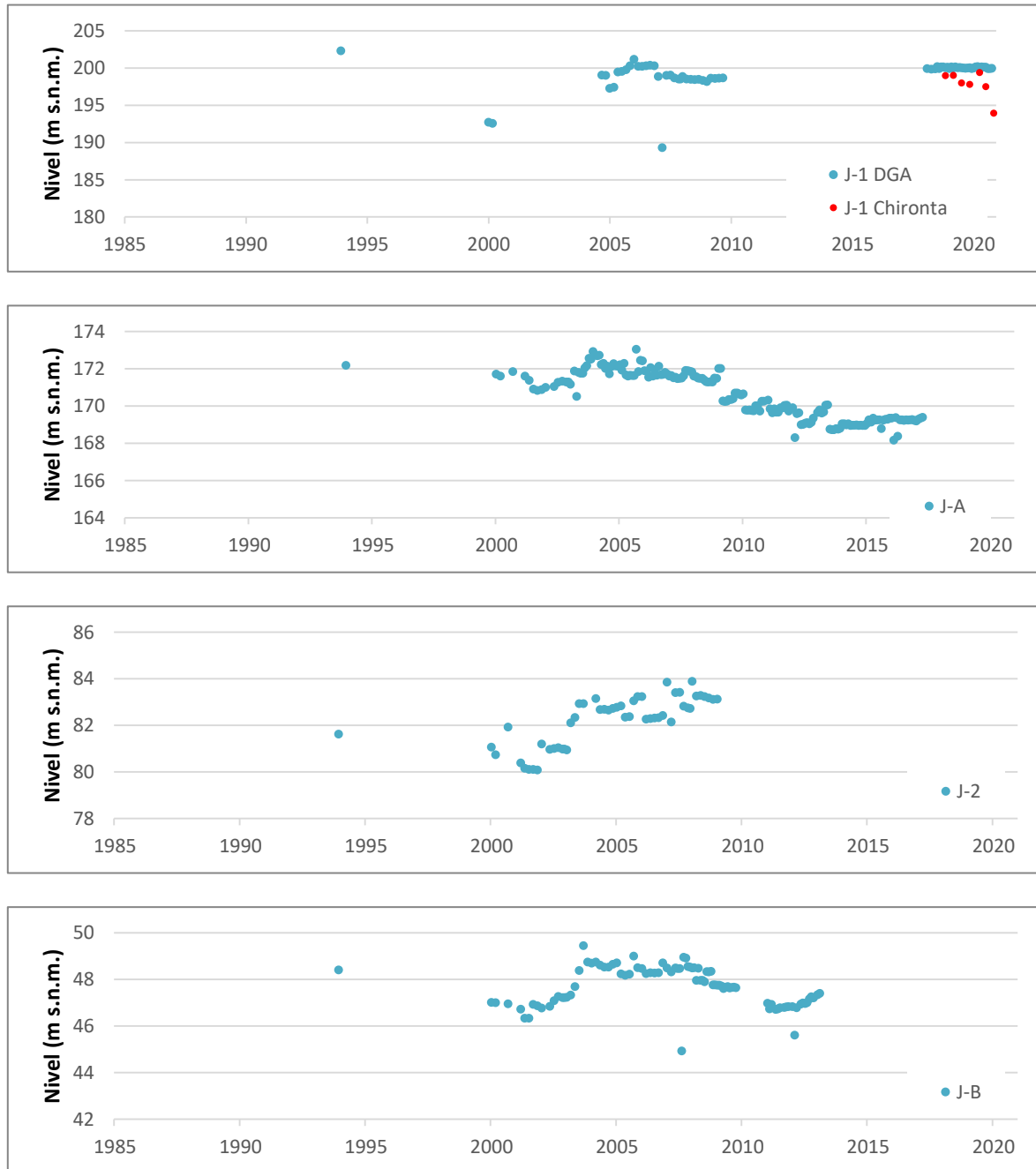
### **Niveles**

Según se muestra en la Figura 4.15, se dispone en la cuenca de la estadística de niveles de cuatro pozos monitoreados a lo largo del tiempo y con información pública disponible. Estos pozos fueron construidos por JICA durante los meses de noviembre y diciembre de 1993 en el contexto del estudio DGA (1995), son de 145 a 200 metros de profundidad, y se encuentran habilitados bajo el nivel impermeable reconocido por DGA (1995). DGA se encarga de su monitoreo mensual a trimestral desde el año 1998, sin embargo, su registro estadístico presente discontinuidades importantes. Mayores antecedentes sobre su ubicación y características se incluyen en la sección 6.6 del Anexo H. Adicionalmente, en el contexto de la construcción del embalse Chironta, se lleva un control de niveles de una serie de pozos, entre ellos, el pozo J-1 (Consorcio Embalse Chironta, 2019). Estas mediciones se incorporaron a la estadística de niveles del pozo en cuestión.

Vale destacar que Agrícola Tarapacá Ltda. posee derechos de agua subterránea en trámite desde el año 2005 sobre los pozos J-A y J-2, como consta en los expedientes

ND-0101-854 y ND-0101-853 respectivamente. Por lo que no es posible descartar que algunos de los niveles registrados por DGA correspondan a niveles dinámicos.

Adicionalmente se cuenta con 30 niveles observados, para fechas puntuales anteriores al año 1998, que serán utilizados, junto a los registros continuos, en la etapa de modelación.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 4.15 Niveles observados en pozos J-1, J-A, J-2 y J-B para el periodo histórico**

**Resultado Oferta de Agua Subterránea**

La oferta de agua subterránea en el acuífero del Lluta Bajo sería de unos 1.300 l/s, tal como se desglosa en la Tabla 4.14.

**Tabla 4.14 Resumen de la oferta subterránea para la cuenca del río Lluta**

Cuenca	Recarga del río (l/s)	Recarga por riego (l/s)	Oferta (l/s)
Río Lluta	1.000	300	<b>1.300</b>

Fuente: elaboración propia.

**4.2.3 Estadística de parámetros de calidad**

La calidad del agua subterránea de la cuenca del Río Lluta ha sido estudiada casi exclusivamente en la subcuenca del Río Lluta Bajo, donde se desarrolla el acuífero de la cuenca, y en el que se encuentra el SHAC Lluta Bajo. En dicho sector se ubican dos estaciones de calidad de agua de la red hidrométrica de la DGA, denominadas Pozo JICA J-B y Pozo Gallinazos (Figura 2.53), ambas actualmente vigentes, a pesar de que sólo se cuenta con registros entre los años 1997-2009 y 1997-2008 respectivamente. Además, DGA (2016) realizó análisis químicos en cinco pozos del Lluta Bajo, denominados LLAP-19, 20, 22, 23, 24 y LLAP-26, cuya ubicación se puede visualizar en la sección 5.2.1 del Anexo J.

**Descripción hidroquímica**

La composición química de las aguas subterráneas de los pozos del valle del río Lluta son de tipo clorurada sódica, clorurada sódico-cálcica o clorurada cálcico sódica, la cual se mantiene constante en el tiempo y no hay una evolución espacial clara en el contenido de elementos mayores (Figura 4.5). Las aguas subterráneas tienen elevado contenido de cloruro, sulfatos y boro, y la calidad de éstas ha ido empeorando desde la década de los años 60 a la actualidad, como consecuencia del riego de nuevos terrenos que contienen sales (DGA, 2016).

En términos de pH, las aguas de los pozos ubicados en el valle del río Lluta y de las diferentes vertientes del valle son neutras, con un pH que varía entre 6 y 7,3 y constante en el tiempo. Sin embargo, las vertientes hidrotermales que dan origen al río Azufre en la subcuenca del Río Lluta Alto son aguas muy ácidas, con pH entre 1,4 y 2 (DGA, 2016).

En el sector bajo de la cuenca del río Lluta, se identifica un enriquecimiento de elementos mayoritarios a lo largo del acuífero. El alto contenido de nitratos en las aguas subterráneas del valle del río Lluta se debe a la intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas y la sobreexplotación que sufre el acuífero, lo que empeora la calidad de las aguas subterráneas (DGA, 2016).

### **Calidad de aguas subterráneas**

Según se presenta en la Tabla 4.15, las aguas subterráneas en la cuenca del río Lluta no son aptas para el consumo humano, ya que estas aguas superan el límite de arsénico, cadmio, cloruro, fluoruros, hierro, magnesio, manganeso, mercurio, plomo, sulfatos, sólidos totales disueltos, zinc y/ pH (DGA, 2016).

En el valle del río Lluta (sector bajo de la cuenca) se desarrolla agricultura en las terrazas fluviales del río Lluta. De acuerdo al estudio de DGA (1995) la actividad agrícola ha generado una salinización del agua subterránea somera y un aumento en la concentración de nitrato. Sin embargo, en los posteriores estudios revisados (DGA, 2016, 2008b, 2012b) no se ha profundizado en la caracterización de esta fuente difusa y sus efectos sobre los recursos hídricos.

De los análisis químicos realizados por DGA (2016) y los registros de las estaciones de calidad Pozo Jica-B y Pozo Gallinazo, se ha determinado que las aguas subterráneas superan los límites permitidos por las normas de calidad NCh 409 y NCh 1333 en gran cantidad de parámetros, los cuales se muestran en la Tabla 4.15. Las muestras de los pozos en la desembocadura tienden a tener mayor cantidad de elementos sobre la norma que los pozos del valle, como aluminio y arsénico, entre otros.

De acuerdo a las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas del acuífero valle del río Lluta y desembocadura, estas no son aptas ni para el consumo humano ni para riego, al menos sin un tratamiento previo.

**Tabla 4.15 Resumen calidad química aguas subterráneas en la cuenca del Río Lluta, subcuenca Río LLuta Bajo**

Sector	Muestra / Estación DGA	Clasificación química	pH	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Salinidad		Elementos sobre Normas de calidad de agua***	
					TDS mg(l)**	Clasificación	NCh. 409	NCh. 1333
Pozos en el valle del río Lluta	LLAP-24/LLAP-20 (DGA, 2016)	cloruradas sulfatadas sódicas	6 - 7,5	2.500 - 5.000	1.600 - 3.200	salobre	Cl, Fe, As, SO <sub>4</sub> , TDS, Hg	B
	Pozo JICA B (Estación DGA 1997-2009)	clorurada sódica	7,5 - 11	2.800 - 4600	1.800 - 3.00	salobre	B, Cl, Fe, Mn, Hg, Mo, pH, SO <sub>4</sub>	B, Cl, Fe, Mn, Hg, Mo, pH, SO <sub>4</sub>
Pozos en desembocadura	LLAP-19 (DGA, 2016)	cloruradas cálcicas	6 - 7	4.000 - 5.500	2.550 - 3.550	salobre	Cl, Mg, As, SO <sub>4</sub> , TDS, Fe	B
	Pozo Gallinazos (Estación DGA)	clorurada sulfatada - sódico cálcica	6,5 - 8,2	3.800 - 6.400	2.400 - 4.100	salobre	Al, As, B, Cl, Fe, Mg, Mn, Hg, Mo, SO <sub>4</sub>	Al, As, B, Cl, Fe, Hg, Mo, SO <sub>4</sub>

\* Rango con mayor concentración de datos

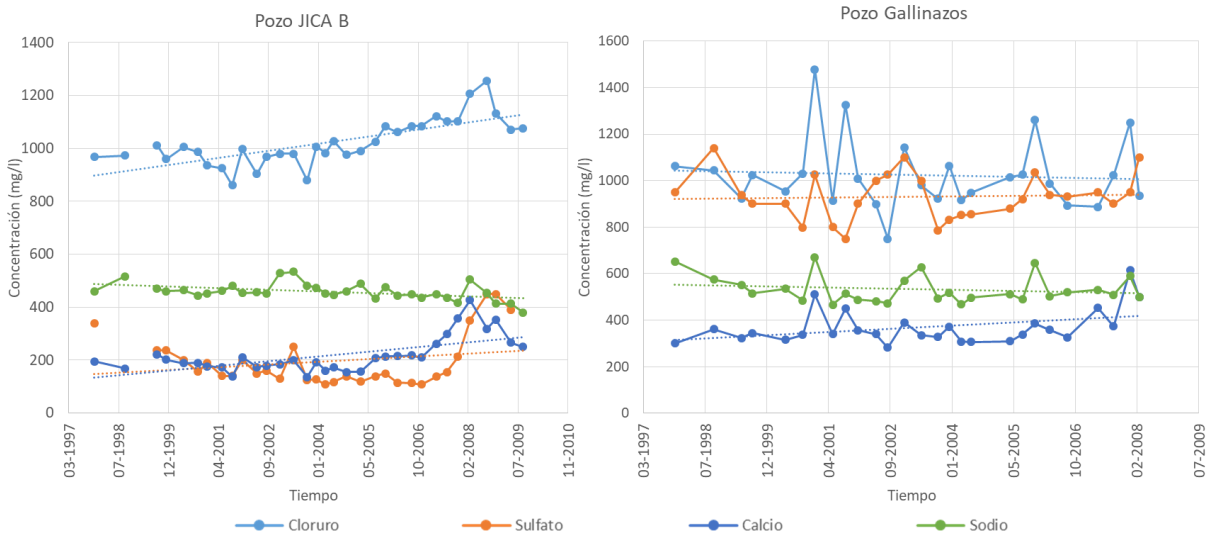
\*\* Obtenida en base TDS (mg/l)  $\approx 0,64 \times CE$  (uS/cm)

\*\*\* Extraído de DGA (2016) y de datos de las estaciones de calidad de agua DGA

Fuente: elaboración propia a partir de DGA (2016) y estaciones DGA.

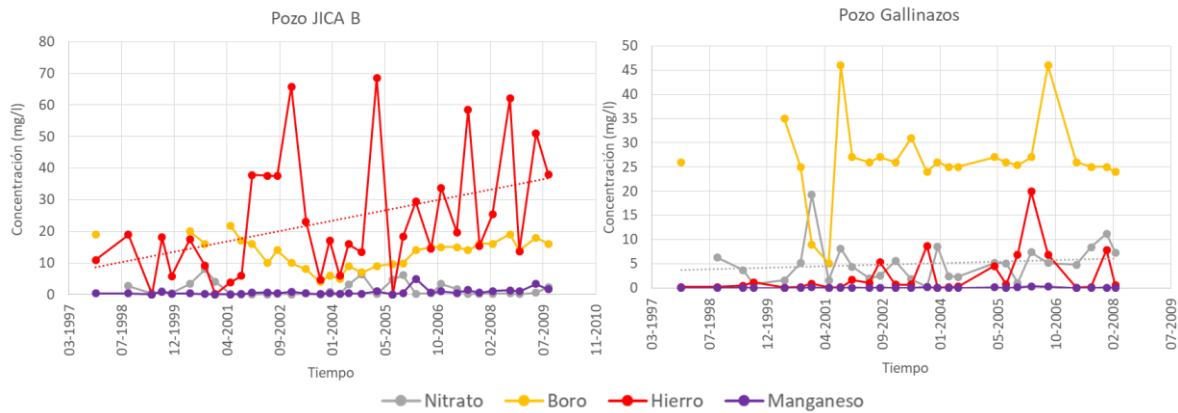
### **Evolución temporal de parámetros**

Según el análisis de evolución temporal de la estadística de calidad de agua realizado con la información de las estaciones DGA para algunos elementos mayoritarios y minoritarios, se detecta un incremento en las concentraciones de parámetros como el cloruro, sulfato, calcio y hierro para el Pozo JICA B, y un aumento en calcio y nitrato para el Pozo Gallinazos, mientras que el sodio ha disminuido en el tiempo en las dos estaciones. Gráficos de evolución temporal para elementos mayoritarios y minoritarios se presentan en la Figura 4.16 y Figura 4.17 respectivamente.



Fuente: elaboración propia en base a Estadísticas calidad de agua DGA.

**Figura 4.16 Gráfico de evolución temporal de concentración de elementos mayoritarios (mg/l) para estaciones de calidad de agua subterránea.**



Fuente: elaboración propia en base a Estadísticas calidad de agua DGA.

**Figura 4.17 Gráfico de evolución temporal de concentración de elementos minoritarios (mg/l) para estaciones de calidad de agua subterránea.**

La calidad de las aguas subterráneas ha ido empeorando en el acuífero del Lluta Bajo al menos de la década de los 90 a la fecha, siendo los pozos situados en el valle los que han visto más deteriorada su calidad, en comparación con los pozos más cercanos a la desembocadura del río Lluta.

#### 4.2.4 Vulnerabilidad de acuíferos

A partir de la recopilación de antecedentes realizada para el presente estudio no se encontraron registros de estudios y/o mapas de la vulnerabilidad del acuífero del sector del valle de Lluta.

#### 4.2.5 Derechos concedidos

A continuación, se presenta el análisis de los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) subterráneas otorgados en la cuenca del río Lluta. Los resultados son presentados en función de las siguientes variables:

- DAA otorgados según tipo de solicitud
- DAA otorgados según tipo de Derecho y ejercicio del Derecho

Para el análisis se utilizó la base de datos "Planilla Nacional de Derechos de Aprovechamiento de Aguas" consultada con fecha abril del año 2020. En la Tabla 4.16 se muestra el total de DAA subterráneas otorgados en la cuenca del río Lluta.

**Tabla 4.16 DAA subterráneas y caudal medio anual otorgados en la cuenca del río Lluta**

Cuenca	Naturaleza del Agua	Cantidad	Caudal Total (l/s)
Río Lluta	Subterránea	70	758,30

Fuente: elaboración propia.

#### **DAA otorgados según tipo de solicitud**

En la Tabla 4.17 se observa la distribución de los DAA subterráneas de acuerdo al tipo de solicitud, el cual incluye las categorías Nuevos Derechos (ND), Solicitudes de Regularización (NR) y Solicitudes de Cambio de Punto de Captación (VPC).

**Tabla 4.17 DAA subterráneas otorgados y caudal otorgado según tipo de solicitud en la cuenca del río Lluta**

Tipo de Solicitud*	Cantidad		Caudal (l/s)	
	Absoluto	Porcentual	Absoluto	Porcentual
ND	62	88,57%	548,05	72,27%
NR	1	1,43%	0,25	0,03%
VPC	7	10,00%	210,00	27,69%
<b>Total</b>	<b>70</b>	<b>100,00%</b>	<b>758,30</b>	<b>100,00%</b>

\*ND: Nuevos Derechos; NR: Solicitudes de Regularización; VPC: Solicitudes de Cambio de Punto de Captación.

Fuente: elaboración propia.

Según la Tabla 4.17, la mayor parte del caudal otorgado en la cuenca del río Lluta está asociada a solicitudes de tipo ND (72 %), seguido por solicitudes de tipo VPC (28 %).

### **DAA otorgados según tipo de Derecho y ejercicio del Derecho**

En la Tabla 4.18 se observa la distribución de los DAA subterráneas otorgados según tipo de DAA y ejercicio del DAA.

**Tabla 4.18 DAA subterráneas otorgados según tipo y ejercicio del derecho en la cuenca del río Lluta**

Tipo de DAA y Ejercicio del DAA*	Cantidad		Caudal (l/s)	
	Absoluto	Porcentual	Absoluto	Porcentual
<b>Consuntivo</b>	<b>70</b>	<b>100,00%</b>	<b>758,30</b>	<b>100,00%</b>
Permanente y Continuo	65	92,86%	727,28	95,91%
Permanente y Continuo y Provisionales	4	5,71%	30,08	3,97%
Permanente y Discontinuo	1	1,43%	0,94	0,12%
<b>No Consuntivo</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00</b>	<b>0%</b>
<b>Total</b>	<b>70</b>	<b>100,00%</b>	<b>758,30</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: elaboración propia.

Según la Tabla 4.18, la mayor parte de los DAA subterráneas en la cuenca del río Lluta son de tipo consuntivo y de ejercicio permanente y continuo.

### **Georreferenciación de los DAA**

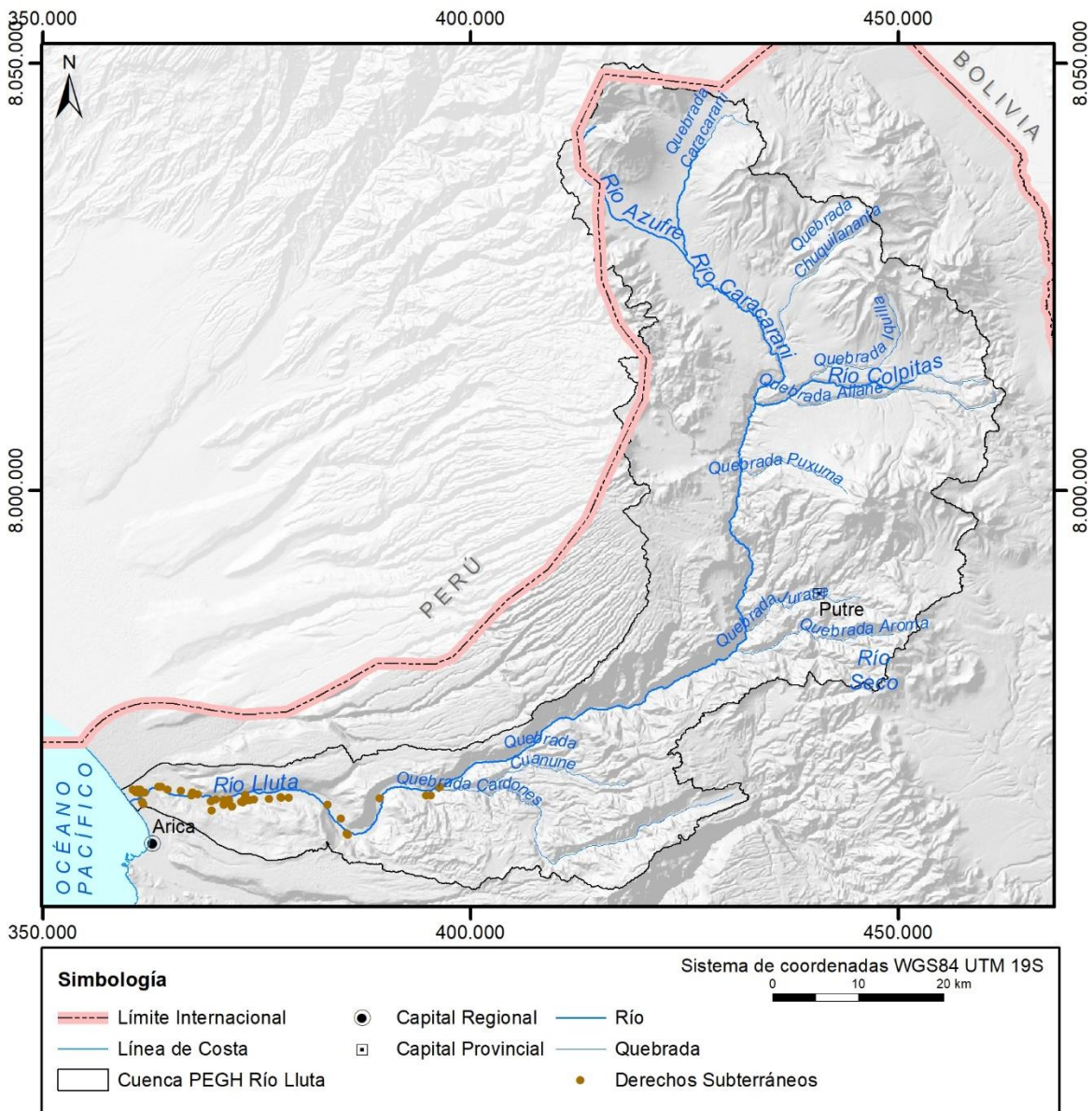
De la base de datos, el 97 % de los DAA subterráneas en la cuenca del río Lluta cuentan con información necesaria para su georreferenciación (coordenadas UTM, Datum y Huso), como se observa en la Tabla 4.19.

**Tabla 4.19 Total de DAA subterráneas georreferenciados y no georreferenciados en la cuenca del río Lluta**

Naturaleza del Agua	DAA Georreferenciado		DAA no Georreferenciado	
	Absoluto	Porcentual	Absoluto	Porcentual
Subterránea	68	97%	2	3%

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4.18 se muestra la ubicación geográfica de los puntos de captación asociados a cada DAA subterráneo en la cuenca del río Lluta.



Fuente: elaboración propia en base a catastro público de DAA, consultado en abril 2020.

**Figura 4.18 Ubicación geográfica de los DAA subterráneos en la cuenca del río Lluta.**

### 4.3 Glaciares

En la sección 2.3.3 se presentan y describen los glaciares identificados en la cuenca, de acuerdo al inventario de glaciares de la DGA<sup>18</sup>, indicando que en la cuenca del río Lluta

<sup>18</sup> Observatorio Georreferenciado DGA [en línea] <https://snia.mop.gob.cl/observatorio/> (visitado por última vez el 25/05/2021)

existen 97 glaciares (rocosos, de montaña y glaciaretos), que cubren un área total de 6,36 km<sup>2</sup>. Tomando en cuenta la escasa información existente para los glaciares de la cuenca, debido al nulo monitoreo y la dificultad de acceso y mapeo, no ha sido posible estimar su aporte hacia la oferta de agua. Sin embargo, se estima que, debido a sus dimensiones, el aporte, a nivel de cuenca, sería bajo.

#### 4.4 Resultado Oferta de Agua cuenca del Río Lluta

Finalmente, considerando la oferta de agua superficial y subterránea, se obtiene para la cuenca del río Lluta una oferta de 3.600 l/s, según se muestra en la Tabla 4.20.

**Tabla 4.20 Resumen oferta de agua de la cuenca del río Lluta**

<b>Oferta Superficial (l/s)</b>	<b>Oferta Subterránea (l/s)</b>	<b>Oferta Total (l/s)</b>
2.300	1.300	3.600

Fuente: elaboración propia.

## 5. BALANCE DE AGUA

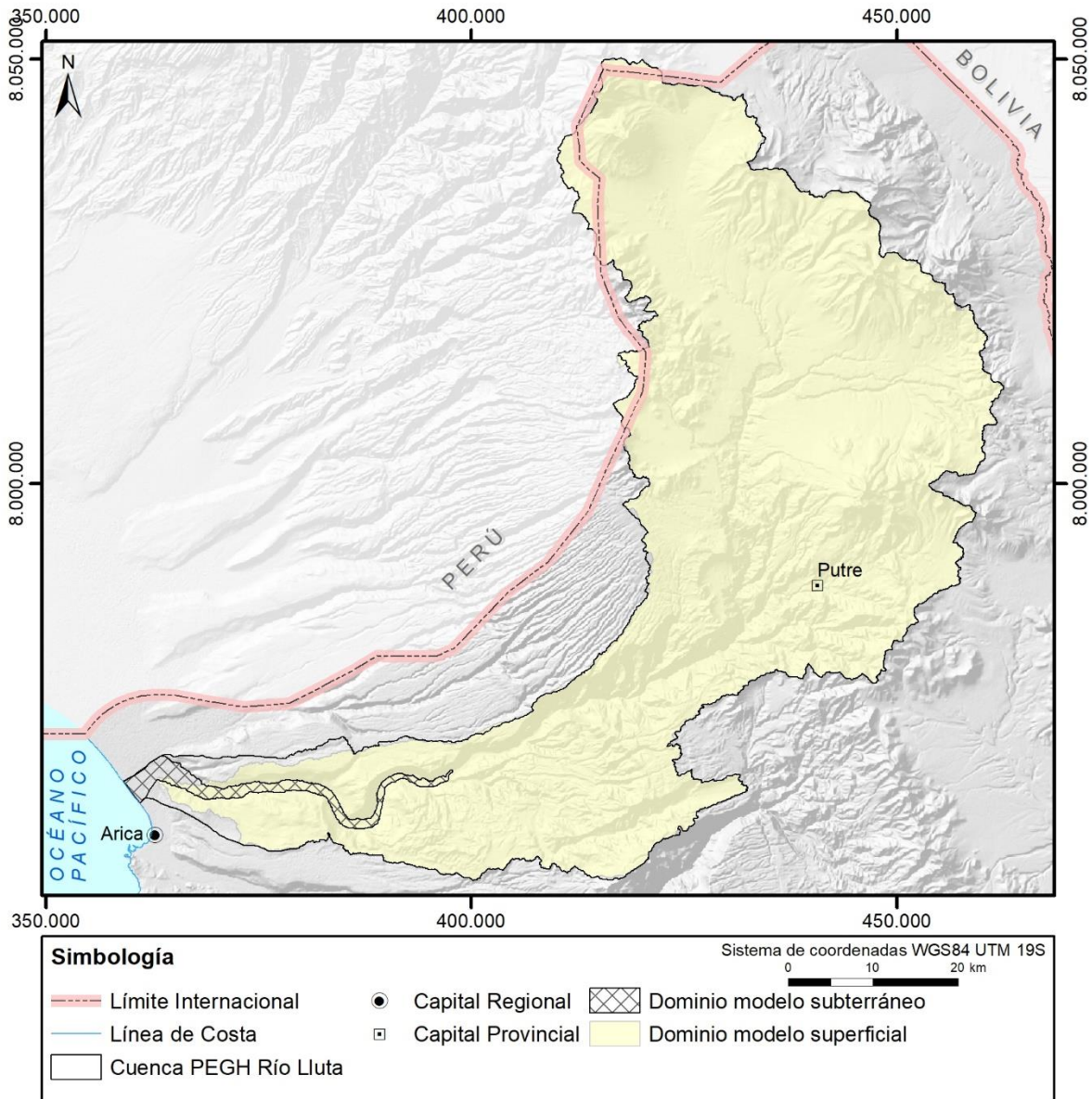
En el presente capítulo se presentan los resultados del balance hídrico de la cuenca del río Lluta en base a los modelos elaborados para el PEGH del río Lluta. En este sentido, se realiza una completa descripción de los escenarios considerados, tanto para la situación actual como para los escenarios futuros, así como una discusión de los resultados de la modelación y las brechas detectadas. Para ello se han desarrollado de manera independiente modelos de simulación de flujos superficial y subterráneo que posteriormente han sido acoplados. La descripción detallada se puede revisar en el Anexo H, donde en el capítulo 5 se aborda el modelo superficial y en el capítulo 6, el subterráneo.

### 5.1 Modelo de simulación

La modelación de la cuenca del Río Lluta se ha implementado a través de un modelo integrado WEAP-MODFLOW, que permite combinar el análisis de los recursos a nivel superficial y subterráneo. Esta estrategia de modelación responde al objetivo principal del Plan, relacionado a fomentar la gestión de los recursos hídricos a escala de cuenca.

A nivel superficial, el modelo WEAP se ha implementado para toda la cuenca, tomando en consideración los altos valores de precipitación en la parte alta de la cuenca y las demandas asociadas a riego en la zona del valle, mientras que a nivel subterráneo se implementa un modelo MODFLOW en la zona del acuífero detrítico en el valle del Río Lluta, e incorpora las distintas fuentes de recarga, así como las extracciones existentes. Finalmente, se buscó una integración dinámica del modelo hidrológico superficial y de agua subterránea. Mayores antecedentes respecto a la estrategia de modelación se presenta en el capítulo 4 del Anexo H. En la Figura 5.1 se muestra el dominio de las áreas de modelación superficial (cuenca del Río Lluta) y subterránea (acuífero del Valle de Lluta modelado en MODFLOW), y se detallan a continuación las principales características de la modelación:

- Nombre: Modelo integrado WEAP-MODFLOW para la Cuenca del Río Lluta.
- Área de modelación: 3.415 km<sup>2</sup>.
- Ubicación representativa: 18,11° S; 69,71° O. Región de Arica y Parinacota, Chile.
- Área del modelo subterráneo: 58,6 km<sup>2</sup>.
- Escala temporal de modelación: Mensual.
- Periodo de modelación: 1979 - 2019
- Motor de modelación superficial: WEAP (Yates et al., 2005).
- Motor de modelación subterránea: MODFLOW-NWT (Niswonger et al., 2011).

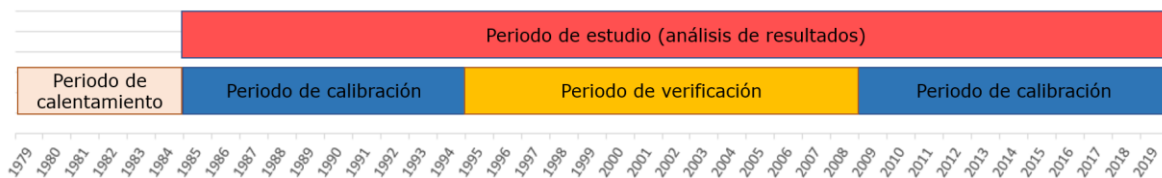


Fuente: elaboración propia.

**Figura 5.1 Dominios de modelación WEAP-MODFLOW.**

### 5.1.1 Situación actual

El modelo WEAP se implementó subdividiendo la cuenca en Unidades Hidrológicas, que representan las subcuencas y áreas de riego. El modelo incorpora información de precipitaciones y temperaturas a partir del producto grillado CR2METv2, información de cobertura de suelo y de uso para riego. El modelo se calibró utilizando datos fluviométricos medidos en 3 estaciones de la cuenca. Mayores antecedentes sobre la información utilizada y la implementación del modelo se incluyen en las secciones 5.1 y 5.3 del Anexo H. El modelo consideró un periodo de calentamiento, de calibración y de verificación, según lo presentado en la Figura 5.2.



Fuente: elaboración propia.

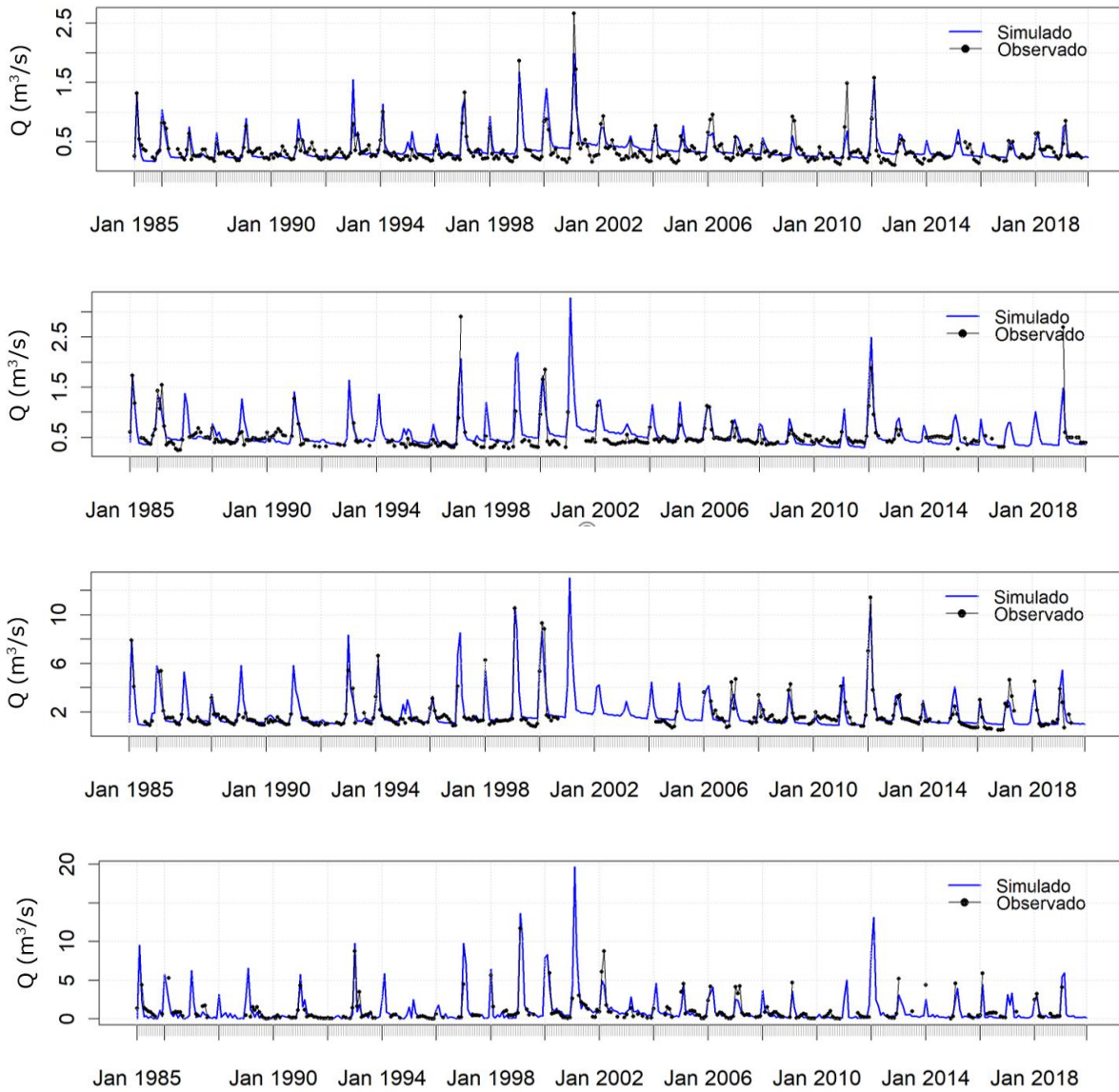
**Figura 5.2 Esquematización de los periodos de tiempo considerados para la modelación superficial.**

El modelo MODFLOW se implementó a partir del modelo desarrollado por Ayala, Cabrera y Asociados (ESSAT, 1998a), extendiendo el área de modelación levemente hacia aguas arriba, y hasta la desembocadura aguas abajo, e incorporando información de extracciones entre los años 1998 y 2019. El modelo se calibró utilizando información de niveles observados en terreno. Mayores antecedentes con respecto al modelo MODFLOW, la información utilizada y su implementación, se incluyen en el capítulo 6 del Anexo H. El modelo consideró un estado estacionario para el año 1998, y un periodo transiente entre 1998 y 2019.

El modelo integrado WEAP-MODFLOW se implementó a partir de los modelos individuales semi-calibrados, considerando en particular las conexiones dadas por: extracciones de aguas subterráneas desde pozos, retornos por riego al sistema subterráneo, y la interacción río acuífero. El detalle del proceso de integración realizado se incluye en la sección 7.1 del Anexo H. El modelo acoplado se calibró considerando los caudales en la estación Río Lluta en Panamericana y los niveles observados en los pozos.

En la Figura 5.3 se presentan los hidrogramas obtenidos de la calibración para el modelo superficial (estaciones Río Caracarani en Humapalca, Río Colpitas en Alcérreca y Río Lluta en Alcérreca) y para el modelo acoplado (Río Lluta en Panamericana). En general, todas las estaciones muestran un buen ajuste a nivel de caudales medios mensuales. En la Tabla 5.1 se presentan las métricas de ajuste, destacando que la función objetivo considerada para la calibración correspondió al índice KGE. Mayores antecedentes sobre la función objetivo y el proceso de calibración se presentan en las secciones 5.3.2 y 7.2 del Anexo H, para los modelos superficial e integrado, respectivamente.

Tanto los índices KGE como NSE entregan valores aceptables a buenos para todas las estaciones, y esto se mantiene al considerar por separado los periodos de calibración y verificación para cada una de ellas (ver secciones 5.3.2.5 y 7.3.1 del Anexo H), lo que entrega buenas señales sobre la capacidad predictiva del modelo a nivel superficial.



Fuente: elaboración propia.

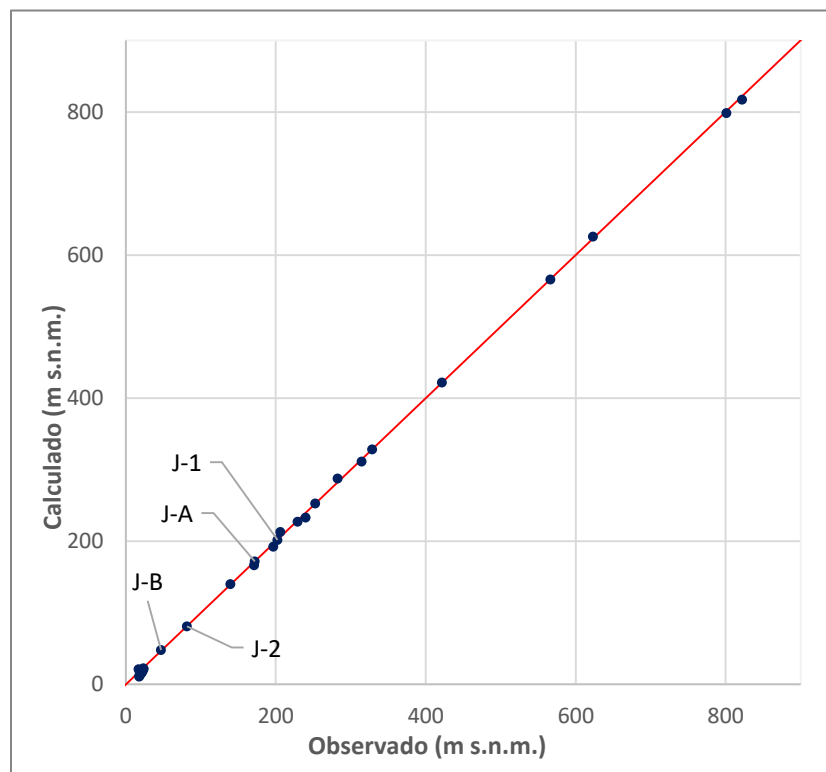
**Figura 5.3 Simulación en periodo completo para las estaciones fluviométricas Río Caracarani en Humapalca (arriba), Río Colpitas en Alcérreca (centro-arriba), Río Lluta en Alcérreca (centro-abajo) y Río Lluta en Panamericana (abajo).**

**Tabla 5.1 Resumen de resultados de la calibración y verificación en estaciones fluviométricas (periodo 1985-2019).**

Estación	KGE'	NSE	$\bar{Q}_{obs}$ (m <sup>3</sup> /s)	$\bar{Q}_{sim}$ (m <sup>3</sup> /s)
Río Caracarani en Humapalca	0,76	0,69	0,35	0,378
Río Colpitas en Alcérreca	0,76	0,69	0,35	0,378
Río Lluta en Alcérreca	0,76	0,58	0,509	0,568
Río Lluta en Panamericana	0,79	0,74	1,034	1,103

Fuente: elaboración propia.

El modelo subterráneo estacionario fue calibrado considerando la información de niveles en 33 pozos. El resultado gráfico de la comparación entre niveles observados y simulados se presenta en la Figura 5.4, obteniendo un buen ajuste y un índice RMS normalizado de 0,5% (ver mayor detalle del proceso de calibración del modelo subterráneo en la sección 6.10.1 del Anexo H).

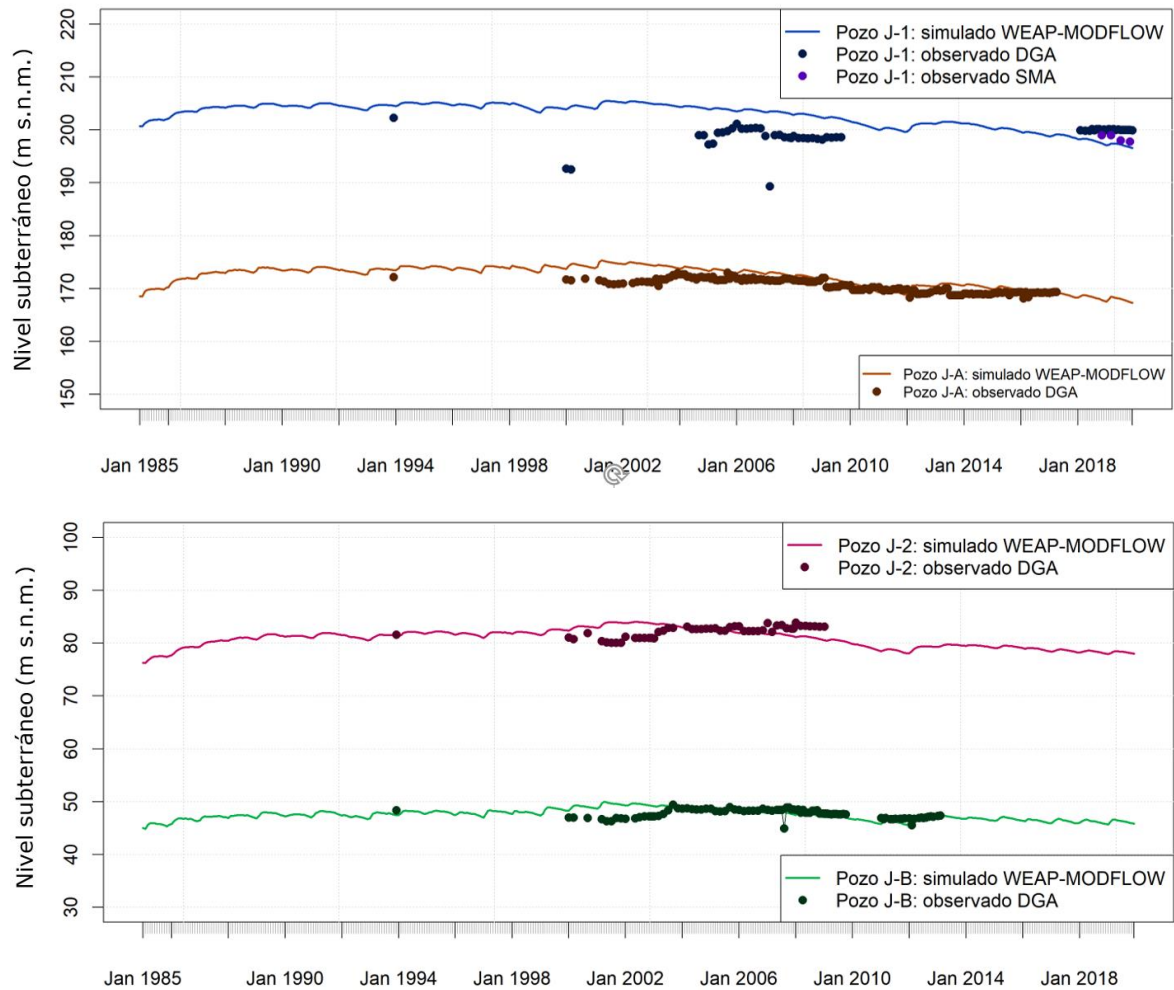


Fuente: elaboración propia.

**Figura 5.4 Ajuste obtenido de niveles en régimen estacionario, se destacan piezómetros DGA.**

A nivel subterráneo el modelo integrado fue calibrado a partir de la información de 4 pozos. El ajuste de los niveles simulados a los observados se presenta en la Figura 5.5 para los pozos J-1, J-A, J-2 y J-B. Los resultados muestran un buen ajuste a los pozos J-A y J-B, y algo menores para el pozo J-2, pero con índices RMSE menores a 2, por lo que se consideran aceptables. Por otra parte, el ajuste al pozo J-1 no logra representar la tendencia observada, sin embargo, se debe tener en cuenta la incertidumbre asociada

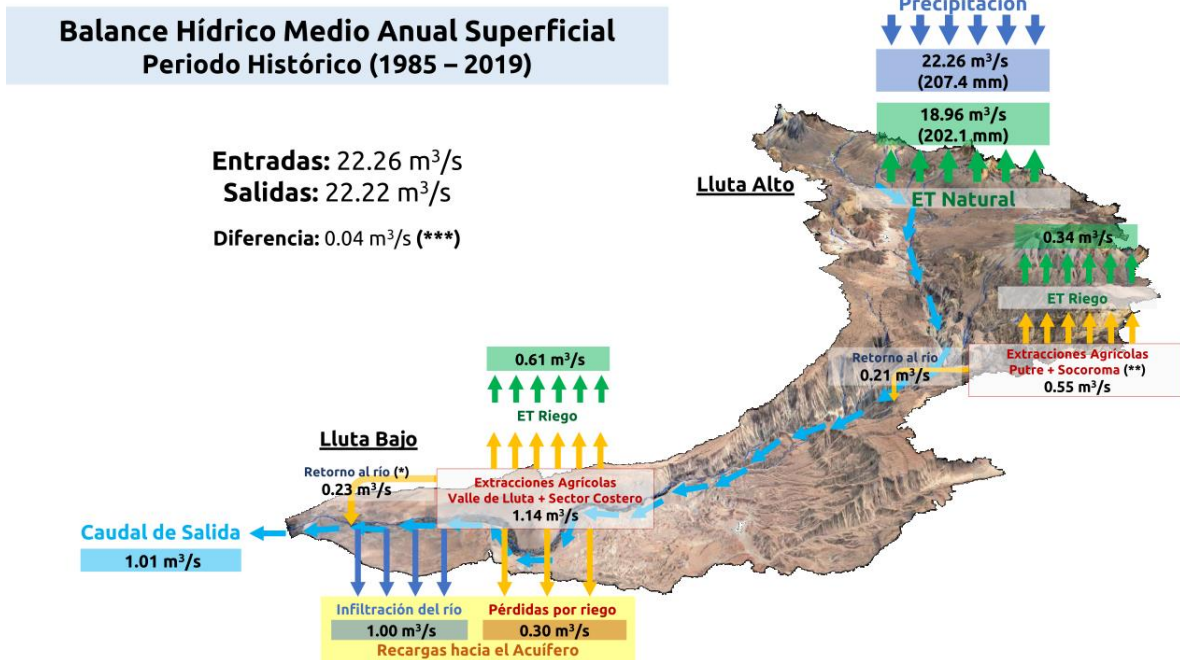
a las mediciones, dado que se trata de un pozo que se dejó de medir durante un largo tiempo, y cuyas medidas se retomaron el año 2018, presentando niveles mayores a los del último periodo con mediciones, pese al aumento de demandas en el sector. Este punto quedó identificado como una brecha de la modelación, en conjunto con la necesidad de incorporar nuevas mediciones de pozos hasta el tiempo presente, lo cual se presenta en la sección 9.2 del Anexo H.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 5.5 Niveles observados y simulados mediante el modelo WEAP-MODFLOW Pozos J-1 y J-A (arriba) y Pozos J-2 y J-B (abajo).**

En la Figura 5.6 se presenta el balance hídrico medio anual en el periodo histórico modelado, desglosando de manera generalizada las componentes de entrada y salida de agua a nivel superficial. Se destaca que la evapotranspiración natural (ET no asociada a riego) corresponde a 202,1 mm a escala de cuenca, lo cual representa más del 95% de la entrada por precipitación (207,4 mm).

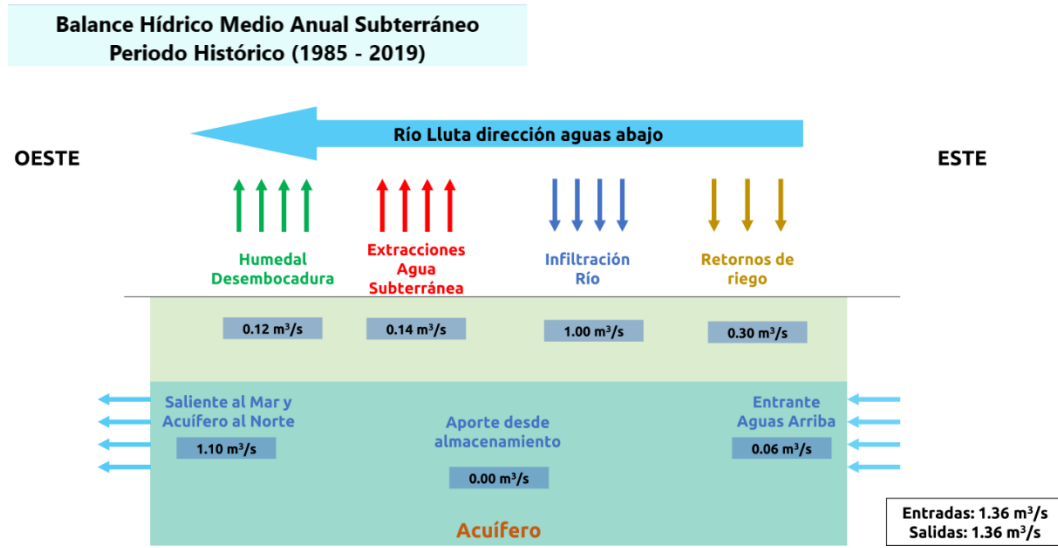


Notas: (\*) Retornos devueltos al río, considerados en las zonas de riego no acopladas al modelo subterráneo. (\*\*) Para simplificar la figura, se muestra la demanda de los sectores Putre y Socoroma en conjunto. (\*\*\*) La diferencia se explica por los remanentes de humedad del suelo y acumulación de nieve, entre la condición inicial y final de la modelación, además de las imprecisiones derivadas del redondeo de datos.

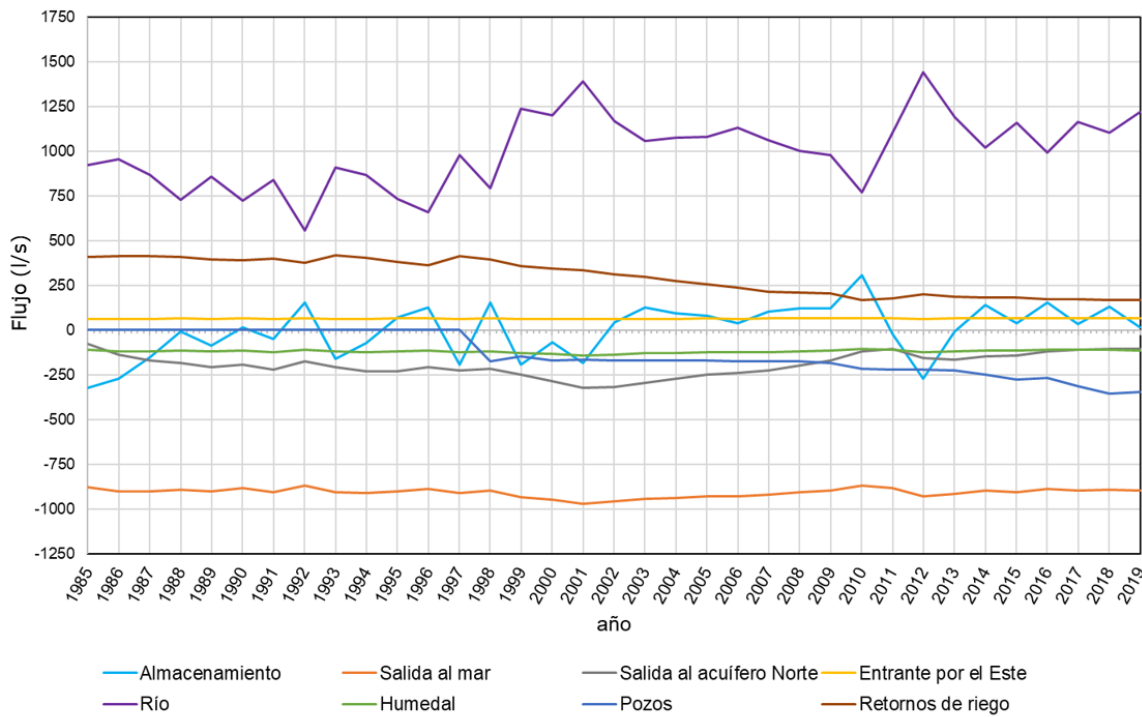
Fuente: elaboración propia.

**Figura 5.6 Balance hídrico medio anual superficial en periodo histórico.**

En la Figura 5.7 se muestra el balance del sistema subterráneo, correspondiente al SHAC Río Lluta Bajo (único SHAC modelado de la cuenca), el cual se asocia al balance superficial de la Figura 5.6. Las entradas, corresponden básicamente a la infiltración del río (1,00 m<sup>3</sup>/s) y las recargas por retornos de riego (0,30 m<sup>3</sup>/s), las que junto al flujo entrante aguas arriba (0,06 m<sup>3</sup>/s) suman un total de 1,36 m<sup>3</sup>/s de caudal de entrada. Las salidas corresponden en mayor parte al flujo saliente del acuífero hacia el mar y hacia el Norte (1,10 m<sup>3</sup>/s), y en menor medida a la evaporación desde el humedal de la desembocadura del Río Lluta (0,12 m<sup>3</sup>/s) y las extracciones desde los pozos (0,14 m<sup>3</sup>/s). En la Figura 5.8 se presenta la variación de dichos flujos a través del tiempo, donde los valores positivos constituyen ingresos al acuífero y los negativos a las salidas.



**Figura 5.7 Componentes del balance hídrico del Acuífero de Lluta Bajo.**



**Figura 5.8 Balance subterráneo anual para el Acuífero de Lluta Bajo. Periodo Histórico (1985-2019).**

### 5.1.2 Situación proyectada

La situación proyectada se realizó bajo condiciones climáticas futuras, pero manteniendo las demandas existentes (Modelo Base o BAU: Business as usual). Para esto utilizó un área cultivada total de 1.006 (ha), cuya demanda es alimentada completamente por el río Lluta, a través de la serie de canales existentes. Los bombeos de las empresas sanitarias destinados a satisfacer el consumo de agua potable de la población y otros bombeos (uso industrial y otros) se mantienen constantes, considerando el promedio del bombeo entre 2015 y 2019.

Para caracterizar los efectos del cambio climático en la modelación se consideró la variación de la precipitación y temperatura para el periodo 2020 – 2050, según los antecedentes generados por el estudio de Actualización del Balance Hídrico Nacional (ABHN) (DGA, 2018a, 2017a). Este estudio entrega las proyecciones basadas en el uso de Modelos de Circulación General (GCM, siglas de *General Circulation Model*), entre los que se consideraron los modelos CSSM4, CSIRO, IPSL y MIROC, además de generar un escenario promedio. Dicho estudio consideró un periodo histórico de referencia entre 1985-2015, lo que se diferencia levemente del periodo histórico utilizado en el presente proyecto (1985-2019). Mayores antecedentes sobre el procesamiento aplicado se incluyen en la sección 8.1.1 del Anexo H.

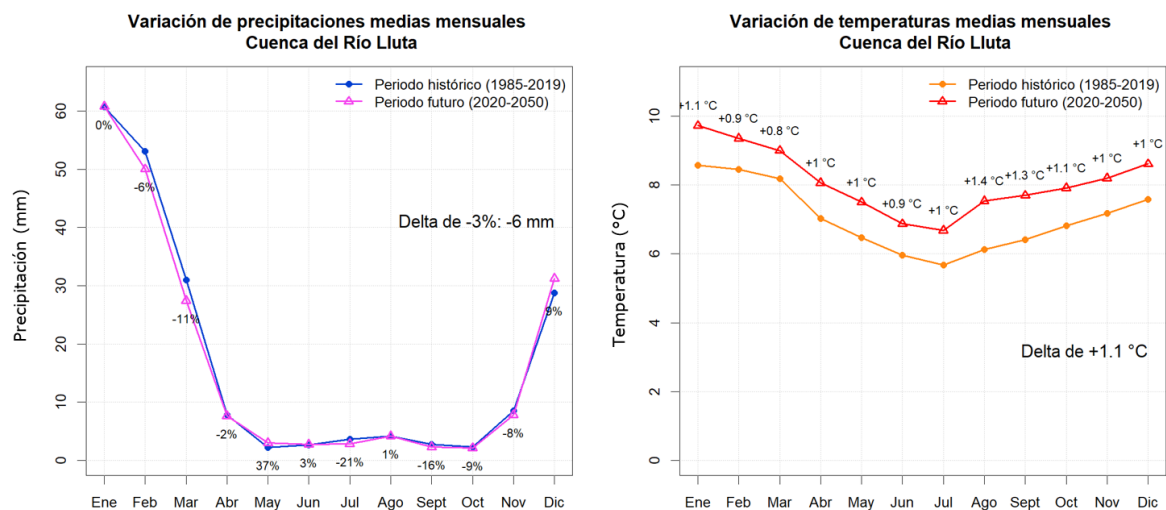
Las proyecciones de precipitación y temperatura para el periodo futuro fueron determinadas a partir de la aplicación del método "*Delta Change*", vale decir, considerando la variación media de la serie histórica de referencia y futura para cada GCM, y aplicando esta variación a la serie histórica utilizada en la modelación. De esta forma la serie de datos de referencia (1985-2015) se repite con esta corrección para representar el periodo futuro (2020-2050). Para mayor detalle del método y su aplicación, revisar secciones 8.1.1.1 y 8.1.1.3 del Anexo H. Como resultado final se obtuvo que los cambios entre el periodo histórico (1985-2019) y el periodo futuro (2020-2050) corresponden a una disminución leve de la precipitación anual de la cuenca (de un 3,3%), y un aumento en la temperatura media anual (+1,1 °C). Es necesario destacar que la sensibilidad climática en la zona es bastante incierta, y no hay una tendencia común para la variación de las precipitaciones en la zona de acuerdo a los 4 GCM utilizados. Debido a esto, y buscando representar una situación promedio, las variaciones corresponden al escenario promedio de los GCM. En la Figura 5.9 se muestran las variaciones medias mensuales.

Es importante aclarar que la aplicación del método "*Delta Change*" en este estudio tiene características particulares, y presenta fuentes de incertidumbre específicas que se detallan a continuación.

En primer lugar, y relacionado a la aplicación de este método, se debiese considerar el uso de datos de GCMs brutos, mientras que en este proyecto en lugar de ello se usaron los GCMs con sesgo corregido del estudio de DGA (2017a). Si bien se ha tenido en cuenta que esto añade más incertidumbre a las proyecciones, se optó por este camino para

poder cumplir con los objetivos y los plazos implicados en el proyecto, utilizando directamente la información disponible generada por el estudio DGA (2017a).

En segundo lugar, es necesario mencionar que, a partir del año 2005, el forzamiento de los modelos CMIP5, donde se incluyen los GCMs utilizados en el estudio de DGA (2017a), viene dado por proyecciones climáticas y no por datos históricos. Dado lo anterior, lo que en estricto rigor corresponde es usar periodos de referencia solamente hasta dicho año. Sin embargo, en este proyecto se consideró un periodo que abarca hasta 2015, primero para tener un periodo de referencia suficientemente amplio, y segundo, para acomodarse al periodo considerado en el estudio DGA (2017a). De esta manera, para el método "Delta Change", se trabajó con la diferencia entre valores medios mensuales del periodo futuro abordado en este proyecto (2020-2050), y el periodo de referencia (1985-2015) utilizado en el estudio ABHN (DGA 2018a, 2017a).



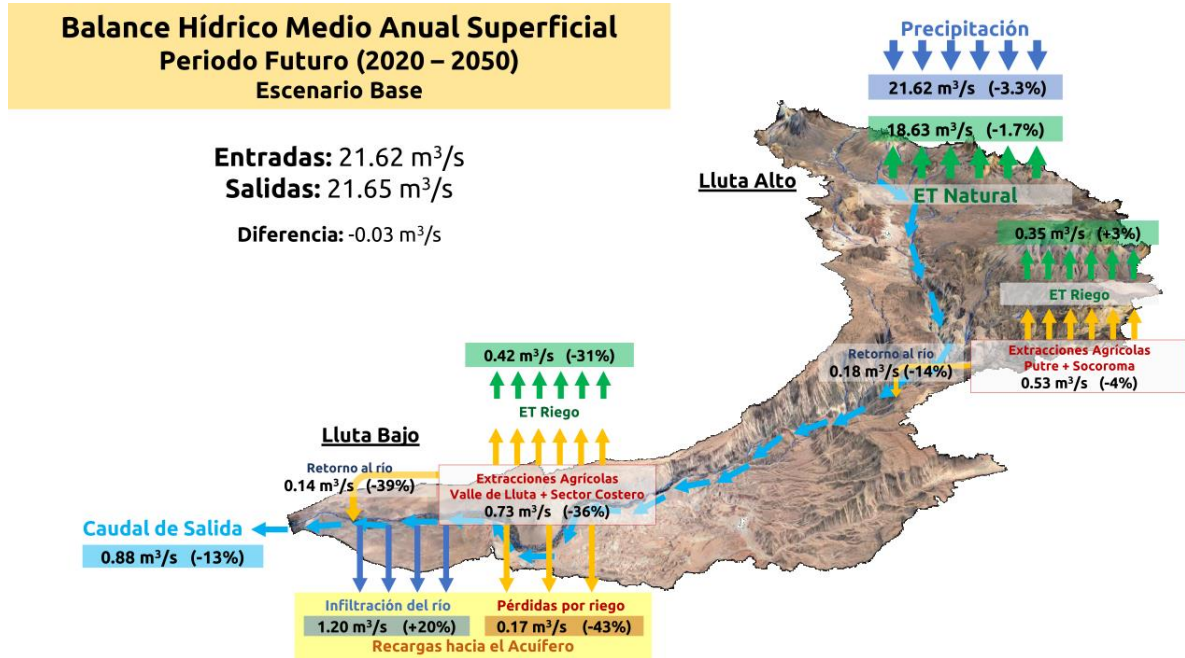
Fuente: elaboración propia.

**Figura 5.9 Deltas de precipitación y temperatura entre el periodo histórico (1985-2019) y futuro (2020-2050).**

En la Figura 5.10 se muestra el balance medio anual para la situación proyectada (Escenario Base – BAU: Bussines as usual), mientras que la Figura 5.11 presenta el balance a nivel subterráneo. En primer lugar, el balance muestra que la evapotranspiración natural (ET no asociada a riego), no tiene un descenso proporcional a la baja de precipitación, ya que esta baja es solo del 1,7%, lo cual se explica por el aumento de las temperaturas.

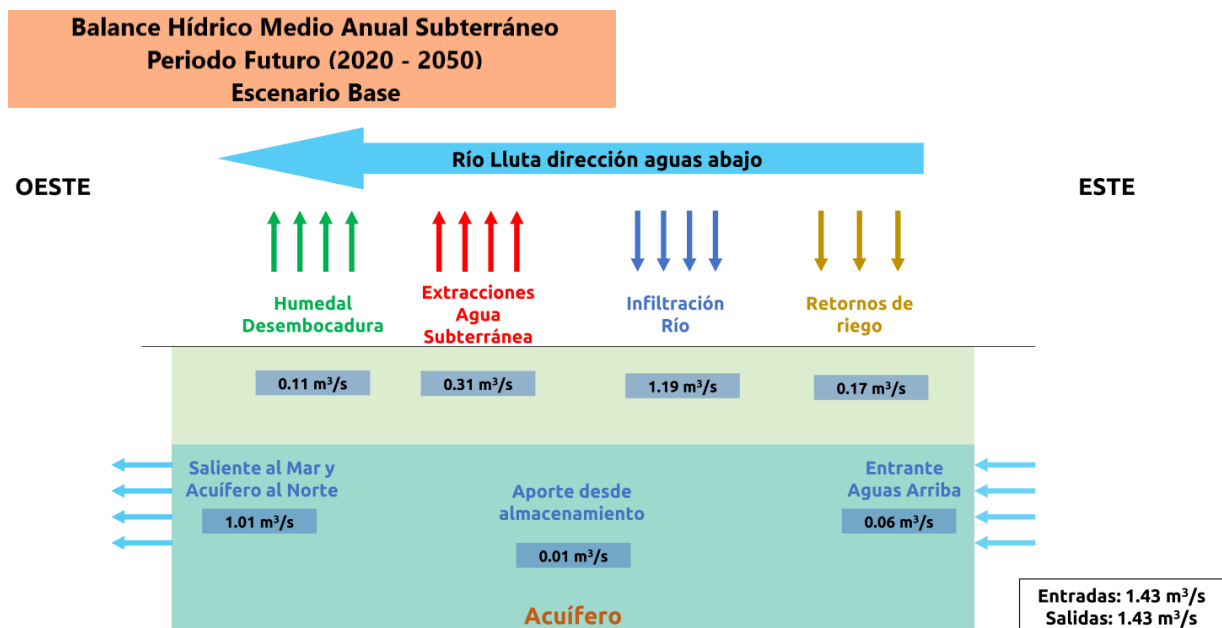
Bajo esta proyección se observa una disminución en la disponibilidad hídrica, específicamente en el sector Lluta Bajo. En cuanto al sector Lluta Bajo, representado por el SHAC del mismo nombre, al considerar como proyección de áreas de riego la superficie de los años 2018-2019 (siendo estos últimos valores menores al promedio del periodo histórico) genera una disminución en las proyecciones de demanda agrícola (-36%), y por ende una baja en la ET asociada a riego en el SHAC (-31%), y los retornos de riego hacia el acuífero (-43%).

La proyección de infiltración del río hacia al acuífero marca un gran aumento (+20% respecto al histórico), respondiendo a un mayor flujo de caudales por el cauce (producto de las menores extracciones). Por último, el valor medio del caudal de salida proyectado marca un descenso de un 13%. A nivel subterráneo se observa un aporte del almacenamiento de 0,01 m<sup>3</sup>/s.



Fuente: elaboración propia.

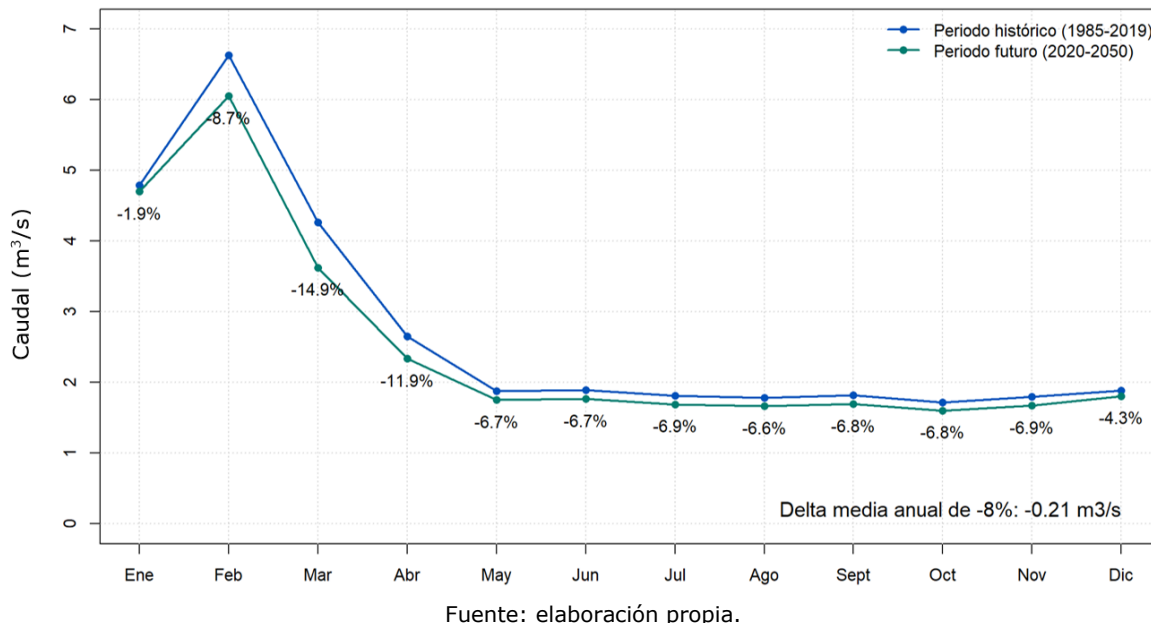
**Figura 5.10 Balance hídrico superficial medio anual en periodo futuro: Escenario Base. Las variaciones son respecto al periodo histórico.**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 5.11 Balance hídrico subterráneo medio anual en periodo futuro: Escenario Base.**

Los caudales de entrada al SHAC de Lluta Bajo tienen un promedio de 2,74 m<sup>3</sup>/s en el periodo histórico, los cuales en el escenario BAU descienden a 2,53 m<sup>3</sup>/s, siendo éste un descenso de alrededor del 8%. En la Figura 5.12 se muestran los caudales medios mensuales y los respectivos porcentajes de variación.



**Figura 5.12 Comparación de caudales medios mensuales en periodo histórico y futuro, en la entrada al SHAC de Lluta Bajo.**

## 5.2 Brechas sobre el recurso hídrico

Para estimar las brechas sobre el recurso hídrico, en la Tabla 5.2 se presenta el balance hídrico obtenido como resultado de la modelación hidrológica. Cabe destacar que el análisis se realizó a escala de cuenca, incluyendo el acuífero, motivo por el cual no se incluyen los flujos intermedios de recarga y afloramientos. El detalle de estos valores se incluye en la Figura 5.6 y en la Figura 5.7. El balance entrega un resultado negativo de -320 l/s para el periodo histórico 1985-2019. Es necesario indicar que, tal como se señala en el estudio (DGA, 2017d), cada componente conlleva una incertidumbre y que éste puede afectar los resultados del balance.

Un segundo análisis permitió establecer un balance del sistema legal de la cuenca, incorporando en este caso los derechos otorgados, a diferencia de las extracciones reales (no se diferencia en este caso entre derechos superficiales y subterráneos). Si bien estos derechos no son utilizados completamente, este ejercicio permite evidenciar el posible sobreotorgamiento con respecto a la oferta real en la cuenca. El valor presentado en la Tabla 5.3 corresponde a una estimación de derechos permanente y continuos en la cuenca, a partir de los derechos permanentes (continuos y alternados) otorgados en la cuenca, realizado en el estudio DGA (2017d). El resultado muestra que el desbalance aumentaría considerablemente, a -7.729 l/s, lo que muestra por tanto un sobre

otorgamiento de los derechos. Vale la pena señalar que cada componente del balance conlleva una incertidumbre.

**Tabla 5.2 Balance hídrico en la cuenca del Río Lluta (cuenca y acuífero), en el periodo 1985 – 2019.**

Componente del balance	Balance (sistema real) (mm/año)	Balance (sistema real) (l/s)
<b>Entradas</b>		
Precipitación	206	22.260
Retorno por riego	4	440
<b>Salidas</b>		
Evapotranspiración Natural	175	18.960
Evapotranspiración Humedal desembocadura	1	120
Extracciones superficiales	16	1.690
Extracciones subterráneas	1	140
Caudal superficial saliente	9	1.010
Caudal subterráneo saliente al Mar y Acuífero de La Concordia	10	1.100
<b>Σ Entradas</b>	210	22.700
<b>Σ Salidas</b>	213	23.020
<b>Balance</b>	-3	-320

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 5.3 Balance hídrico legal en la cuenca del Río Lluta (cuenca y acuífero), en el periodo 1985 – 2019.**

Componente del balance	Balance legal (l/s)
<b>Entradas</b>	
Precipitación	22.260
Retorno por riego	440
<b>Salidas</b>	
Evapotranspiración Natural	18.960
Evapotranspiración Humedal desembocadura	120
Derechos permanentes otorgados	9.239
Caudal superficial saliente	1.010
Caudal subterráneo saliente al Mar y Acuífero de La Concordia	1.100
<b>Σ Entradas</b>	22.700
<b>Σ Salidas</b>	30.429
<b>Balance</b>	-7.729

Fuente: elaboración propia.

Es posible comparar los resultados obtenidos con aquellos desarrollados en el estudio DGA (2017d), resultados que se presentan en la Tabla 5.4. En el balance de línea base, las principales componentes consideradas como entradas son la precipitación y el retorno debido al método de riego aplicado en la zona, y adicionalmente en la subcuenca baja son los flujo superficial y subterráneos entrantes. Como principales salidas en ambas

subcuencas son la evapotranspiración, la evaporación desde cuerpos de agua, las extracciones, el flujo superficial y el flujo subterráneo

Estos resultados entregan un balance que resulta positivo para el sistema real, a diferencia de lo desarrollado en el presente estudio. Sin embargo, resulta negativo en el balance legal, lo que se mantiene igual a lo presentado actualmente. Las principales diferencias están dadas por el cálculo de precipitación (estimado a partir del producto CR2MET v2), el cálculo de la evapotranspiración (que corresponde en este caso a un resultado de la modelación, vs. el cálculo mediante la fórmula de Turc presentado en DGA (2017d), y a la revisión más detallada de las series de demanda real. Además, el desbalance se refleja igualmente en los descensos de niveles observados en el pozo J-A en la Figura 2.18 y en la variación del volumen almacenado presentada en la Figura 5.13.

**Tabla 5.4 Balances considerando el balance línea base sistema real y legal en la cuenca del río Lluta**

Componente del Balance	Balance LB (sistema real)	Balance LB (legal)
<b>Entradas (l/s)</b>		
Precipitación	22.258	22.258
Retorno por riego	854	854
<b>Salidas (l/s)</b>		
Evapotranspiración	18.590	18.590
Evaporación desde cuerpos de agua	67	67
Evaporación desde embalse Chironta		
Extracciones o demanda legal	2.346	9.239
Caudal superficial saliente	1.266	1.266
Caudal superficial estimado saliente		
Flujo subterráneo lateral estimado saliente	50	50
Caudal subterráneo estimado saliente	23	23
<b>Σ Entradas (l/s)</b>	23.113	23.113
<b>Σ Salidas (l/s)</b>	22.343	29.236
<b>Balance (l/s)</b>	+770	-6.123

Fuente: modificado de DGA (2017d).

## 5.3 Sustentabilidad

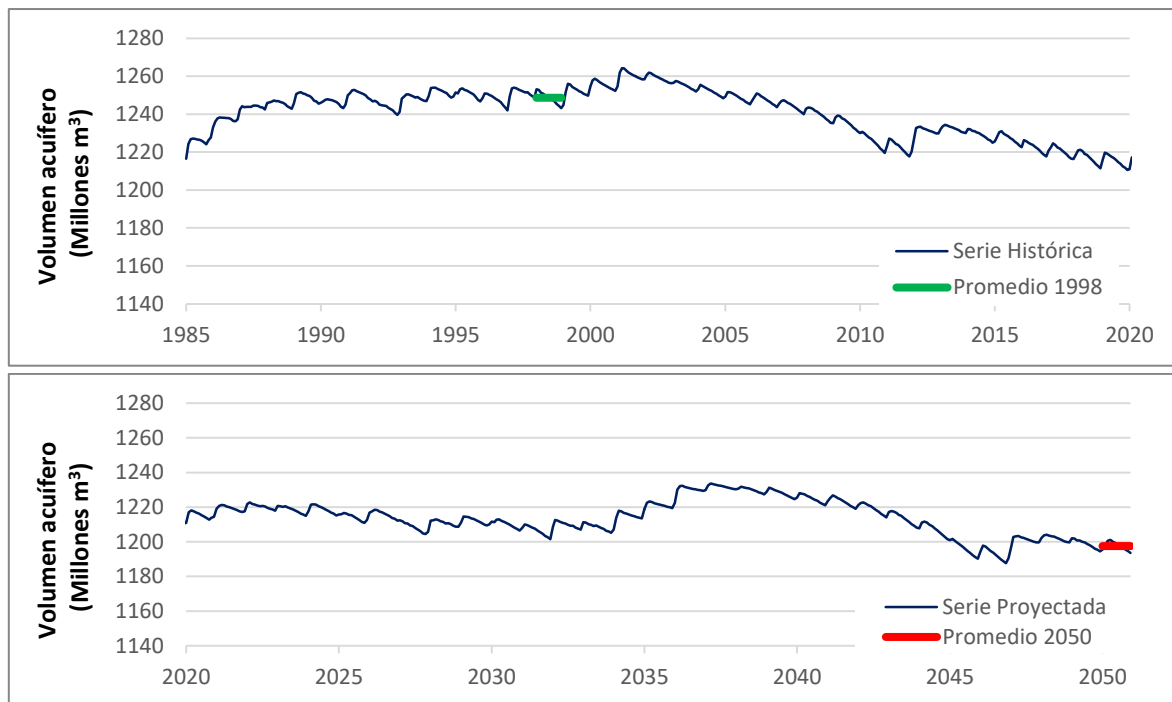
A la fecha de realización de este estudio no existe un manual que defina por completo los criterios de sustentabilidad, aunque si existe el "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos" del Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH) que ha sido utilizado para estudiar cuencas específicas por dicho departamento. Sin embargo, los criterios utilizados en el presente estudio fueron establecidos por la Dirección General de Aguas para los PEGH y que se basa en la Resolución DGA-MOP N°425 de 2007 y en el Decreto MOP-DGA N°203 de 2014.

Además, vale la pena destacar que en este estudio se estima la diferencia entre oferta y extracciones reales (o una estimación de ellas), por lo que no es posible comparar directamente los resultados con la disponibilidad establecida por el DARH. Un resumen

de los resultados para cada criterio se presenta a continuación, y mayores antecedentes se incluyen en la sección 8.3.1.4 del Anexo H.

### 5.3.1 Descensos Sustentables

El primer criterio de sustentabilidad pone foco en el cambio de volumen almacenado en los SHAC en el largo plazo, que en este caso es uno solo (el SHAC Lluta Bajo). Se considera que el volumen de afección no debe afectar más allá de un 5% del volumen total del acuífero al final del periodo de análisis. Para evaluar el cambio de volumen acuífero, se calculó el volumen inicial, para el año 1998, equivalente a 1.248,6 millones de m<sup>3</sup>, y final, para el año 2050, equivalente a 1.197,6 millones de m<sup>3</sup>. Con estos valores, el descenso calculado corresponde a un 4,1%, menor al umbral del 5%, por lo que se cumpliría el criterio.



Fuente: elaboración propia

**Figura 5.13 Evolución del volumen del acuífero. Arriba, serie histórica (1985-2019) y abajo, serie proyectada (2020-2050)**

### 5.3.2 Afectación al río

Este criterio busca no afectar los recursos superficiales ya comprometidos. El grado de interacción debe ser menor al 10% de los flujos superficiales pasantes en cada una de las zonas, evaluado como el caudal promedio anual de 85% de probabilidad de excedencia.

El caudal anual de entrada al SHAC, punto que coincide superficialmente con la entrada a la subcuenca Lluta Bajo, con 85% de excedencia, modelado en el periodo histórico

(1985-2019), corresponde a 1,44 m<sup>3</sup>/s, mientras que la variación neta entre recargas y afloramientos, entre los años 2050 y 1998 corresponde a 0,3 m<sup>3</sup>/s. Al ser este valor mayor al 10% del caudal de 85% de probabilidad de excedencia, no se cumple con el criterio de afectación del río.

### 5.3.3 Satisfacción de la demanda

Para dar cumplimiento al criterio de satisfacción de la demanda en cada SHAC, el modelo debe permitir una extracción mínima del 95% del caudal ingresado como demanda.

En la modelación en WEAP-MODFLOW se verificó que los bombeos forzados como extracción hacia el modelo subterráneo siempre estuvieran efectivamente siendo extraídos desde el acuífero, lo que se tiene en un 100% para el periodo histórico y futuro, cumpliéndose el criterio de demanda.

### 5.3.4 Pozos secos

Este criterio establece que en cada sector hidrogeológico no debe haber más de un 5% de pozos desconectados o colgados.

Si bien se dispone de información sobre la profundidad de los 81 pozos de bombeo en la cuenca, existen incertidumbres sobre definir los pozos desconectados o colgados, específicamente en los puntos de extracción cercanos a la desembocadura, donde la estimación de elevación es imprecisa. Lo anterior trae consigo de que en el periodo histórico haya pozos que parten desconectados.

Si se dejan de lado esos puntos, la cantidad de pozos que se secan en el periodo futuro correspondería solo a 2, sin embargo, incluyendo a los pozos que parten desconectados en el periodo histórico este número asciende a 24, de un total de 81 pozos, con lo que el criterio entrega un 30% de pozos secos. Por lo tanto, no se cumple el criterio de sustentabilidad. Sin embargo, es importante recalcar que esta evaluación padece de mucha incertidumbre.

### 5.3.5 Resumen

En la Tabla 5.5 se presenta un resumen de los resultados obtenidos para los 4 criterios de sustentabilidad evaluados. Se destaca que dos de estos criterios no estarían siendo cumplidos, de acuerdo a los resultados de la modelación, los cuales corresponden a la afectación al río, que supera el 20% del caudal anual de 85% de probabilidad de excedencia, medido en el punto de salida del SHAC, y el criterio de pozos secos, que entrega un valor superior al 5%. Todos estos resultados son estimados a partir de las demandas efectivas, y no de los derechos otorgados, motivo por el cual no deben compararse directamente con los criterios definidos por del DARH.

**Tabla 5.5 Resumen criterios de sustentabilidad**

Criterio	Valor Límite	Estado	Observaciones
Descensos sustentables	$4,1\% < 5\%$ aceptado	Cumple	Corresponde a la diferencia de volumen estimada entre los años 1998 y 2050
Afectación al río	$0.3 \text{ m}^3/\text{s} > 0.144 \text{ m}^3/\text{s}$ $\Delta Q > 10\% Q_{\text{anual}85\%}$	No cumple	El caudal a la salida del SHAC es bastante bajo debido al importante número de extracciones existentes
Satisfacción de la demanda	$100\% > 95\%$ requerido	Cumple	Los bombeos forzados como extracción hacia el modelo subterráneo son siempre extraídos desde el acuífero
Pozos secos	$30\% > 5\%$ aceptado	No cumple	Alto grado de incertidumbre asociado a las cotas en el sector de la desembocadura

Fuente: elaboración propia.

## 5.4 Indicadores hídricos de la cuenca

Para poder comparar los resultados obtenidos del escenario BAU con aquellos asociados a los escenarios de gestión para la cuenca, se ha propuesto evaluar los indicadores hídricos presentados en Tabla 5.6. Estos indicadores se asocian directamente a los resultados de la modelación. Por una parte, se tienen indicadores asociados al estado del sistema (variación en la recarga, caudal saliente de la cuenca y aporte del almacenamiento), así como ligados a las extracciones, tanto superficiales como subterráneas. Estos indicadores fueron utilizados para el análisis de los resultados de los escenarios futuros presentados en la sección 5.5.

**Tabla 5.6 Indicadores definidos para la evaluación de escenarios**

Indicador	Detalle
Retornos de riego al acuífero	Se evalúa como cómo cambia la recarga desde las zonas de riego hacia el acuífero.
Infiltración neta del río	Se evalúa cómo cambia la infiltración neta del río al acuífero, vale decir, el valor de infiltración menos afloramientos.
Caudal de salida	Se evalúa el caudal superficial a la salida de la cuenca.
Aporte almacenamiento	Se evalúa el aporte desde el sistema acuífero.
Extracciones superficiales	Se evalúan los cambios en las extracciones superficiales.
Extracciones subterráneas	Se evalúan los cambios en las extracciones subterráneas.

Fuente: elaboración propia.

## 5.5 Análisis de sensibilidad

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los 3 escenarios de gestión, implementados utilizando el modelo integrado. Cabe destacar que estos escenarios fueron definidos en acuerdo con la inspección fiscal, y tomando en cuenta las inquietudes comentadas por diversos actores de la cuenca.

### 5.5.1 Escenario de Gestión N°1

Este escenario considera la puesta en marcha del Embalse Chironta, hoy en construcción, con una capacidad de 17 Millones de m<sup>3</sup>. Se estableció incluir el embalse a partir del año 2023, con una vida útil de 50 años y un área cultivada de 2.800 ha, según lo presentado en el EIA del proyecto (DOH, 2012). En la sección 8.1.2 del Anexo H se incluye el detalle de la implementación del embalse. Las otras demandas (agua potable, mineras y otras) se consideran constantes e iguales al promedio de los últimos 5 años.

Los resultados del balance superficial y subterráneo para este escenario se incluyen en detalle en la sección 8.3.2 del Anexo H, mientras que los cambios más importantes en las componentes, en relación al Escenario BAU, se muestran en la Tabla 5.7. Este escenario proyecta un aumento del orden del 107% de las extracciones superficiales, que responde al aumento de hectáreas regadas proyectadas, producto de la entrada en operación del embalse. Ésto se relaciona a su vez con los aumentos de ET real y retornos de riego, en las mismas proporciones (mayor número de ha cultivadas). Las extracciones superficiales traen como consecuencia una disminución del caudal en el río, provocando a la vez una disminución en la infiltración del río al acuífero (-28%), y una disminución del caudal de salida (-41%), todo con respecto al escenario BAU. Además, se observa un aumento del aporte desde el almacenamiento.

**Tabla 5.7 Variación de las componentes del balance en la cuenca en el sector Lluta Bajo. Escenario de Gestión N°1**

Componente	Escenario BAU (referencia) (m <sup>3</sup> /s)	Escenario de Gestión N°1 (m <sup>3</sup> /s)	Variación respecto a BAU
Extracciones superficiales	0,73	1,51	107%
ET real	0,42	0,88	110%
Retornos de riego al acuífero	0,17	0,35	106%
Retornos de riego al río	0,14	0,28	100%
Infiltración neta del río	1,2	0,87	-28%
Caudal de salida	0,88	0,52	-41%
Aporte almacenamiento	0,01	0,03	200%
Extracciones subterráneas	0,31	0,31	0%

Fuente: elaboración propia.

### 5.5.2 Escenario de Gestión N°2

Este escenario se genera a partir del Escenario de Gestión 1 y considera además un aumento de la demanda de agua potable urbana de acuerdo a la Actualización del Plan de Desarrollo Arica (SISS, 2018), lo cual apunta específicamente a la extracción de agua

desde los pozos. El comportamiento futuro de las extracciones se detalla en la sección 8.1.3 del Anexo H.

El detalle de las componentes del balance hídrico superficial y subterráneo para el Escenario de Gestión 2, se presentan en la sección 8.3.3 del Anexo H, mientras que las principales variaciones observadas se muestran en la Tabla 5.8. Los resultados obtenidos a nivel superficial son similares a aquellos obtenidos en el Escenario 1 (comparar Tabla 5.8 con la Tabla 5.7), observando que, si bien la infiltración neta del río es menor a la del escenario BAU, aumenta con respecto al Escenario 1, influenciado por el aumento en las extracciones subterráneas. Adicionalmente, se observa un aumento del aporte del almacenamiento.

**Tabla 5.8 Variación de las componentes del balance en el SHAC de Lluta Bajo. Escenario de Gestión N°2**

Componente	Escenario BAU (referencia) (m <sup>3</sup> /s)	Escenario de Gestión N°2 (m <sup>3</sup> /s)	Variación respecto a BAU
Extracciones	0,73	1,47	101%
ET real	0,42	0,87	107%
Retornos de riego al acuífero	0,17	0,34	100%
Retornos de riego al río	0,14	0,28	100%
Infiltración del río	1,2	0,92	-23%
Caudal de salida	0,88	0,5	-43%
Aporte almacenamiento	0,01	0,06	500%
Extracciones subterráneas	0,31	0,44	42%

Fuente: elaboración propia

### 5.5.3 Escenario de Gestión N°3

Este escenario es idéntico al Escenario de Gestión 2, salvo por la consideración de que la cuenca del río Caracarani se desvía directamente hacia el sector bajo de la cuenca del río Lluta a través de un canal/tubería para uso agrícola. La motivación de este escenario es obtener agua de mejor calidad, siendo la cuenca del Río Caracarani una de las que presenta esta condición en comparación a otras zonas de la cuenca del Río Lluta. Esta extracción quedó simulada como una demanda, pero no se asignó a un área de riego específica.

En la sección 8.3.4 del Anexo H se presenta el detalle de las componentes del balance hídrico superficial y subterráneo para el Escenario de Gestión 3, mientras que los cambios más importantes en las componentes, con respecto al Escenario BAU, se muestran en la Tabla 5.9. En este escenario se proyecta un aumento del orden del 84% de la demanda agrícola del Escenario Base, lo cual es menor que en el Esc-G-1, debido a limitantes de disponibilidad hídrica para abastecer las superficies cultivadas (las mismas consideradas para Esc-G-1). Las extracciones traen una disminución del caudal en el río, provocando una disminución en la cantidad de infiltración río-acuífero (-28%), lo cual deja un caudal de salida que baja un 59% respecto al Escenario Base.

**Tabla 5.9 Variación de las componentes del balance en el SHAC de Lluta Bajo. Escenario de Gestión N°3**

Componente	Escenario BAU (referencia) (m <sup>3</sup> /s)	Escenario de Gestión N°3 (m <sup>3</sup> /s)	Variación respecto a BAU
Extracciones	0,73	1,34	84%
ET real	0,42	0,79	88%
Retornos de riego al acuífero	0,17	0,29	71%
Retornos de riego al río	0,14	0,26	86%
Infiltración del río	1,2	0,87	-28%
Caudal de salida	0,88	0,36	-59%
Aporte almacenamiento	0,01	0,06	500%
Extracciones subterráneas	0,31	0,44	42%
Extracción Río Caracarani	0	0,33	-

Fuente: elaboración propia.

#### 5.5.4 Discusión de resultados

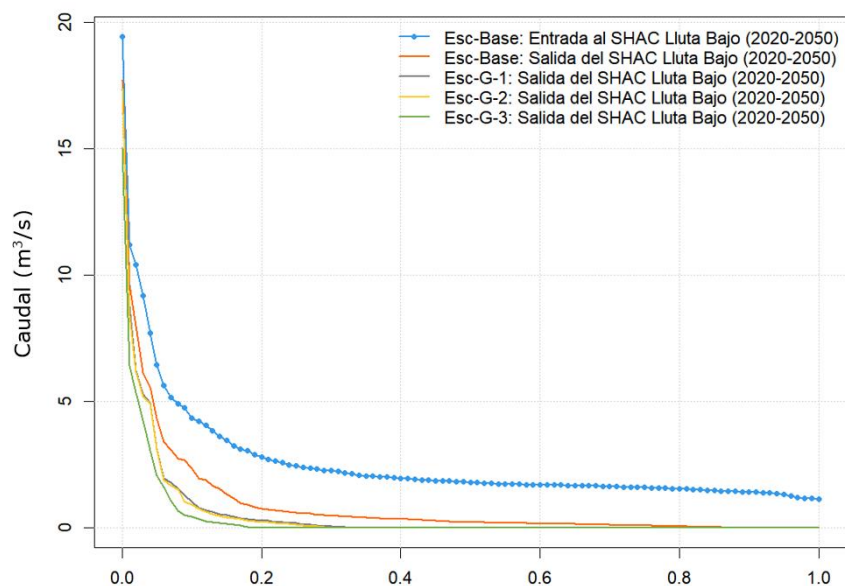
A continuación, se resume la comparación de los escenarios implementados, específicamente en cuanto a caudales, niveles subterráneos y extracciones para riego.

#### **Comparación de caudales de entrada y salida al SHAC**

En la Figura 5.14 se comparan distintas curvas de duración de caudales, tanto para la entrada al SHAC de Lluta Bajo (que es igual para todos los escenarios), y la salida de la cuenca (las que varían según el escenario). Para todos los escenarios, el caudal medio anual de entrada corresponde a 2,53 m<sup>3</sup>/s. Para el Escenario BAU, y los Escenarios de Gestión N°1, N°2 y N°3 los caudales medios anuales de salida corresponden a 0,88 m<sup>3</sup>/s, 0,52 m<sup>3</sup>/s, 0,50 m<sup>3</sup>/s y 0,36 m<sup>3</sup>/s.

Se destaca, además, la gran diferencia entre el caudal que ingresa al SHAC Lluta Bajo, versus los que salen de la cuenca, dada por la infiltración del río y las extracciones superficiales.

Al comparar los caudales de salida entre los escenarios, no se observan grandes diferencias para probabilidades de excedencia altas (>0,7), es decir, para caudales bajos. Para caudales altos (bajas probabilidades de excedencia), las diferencias en los caudales de salida son más notorias, siendo el caso más favorable el Escenario Base, luego los Escenarios de Gestión 1 y 2 comparten las mismas magnitudes de los caudales, y finalmente el Escenario de Gestión N°3 es el más desfavorable, dada la evidente falta de agua debido a la desconexión del Río Caracarani.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 5.14 Curvas de duración de caudales para entrada y salida del SHAC de Lluta Bajo según los distintos escenarios**

### Niveles simulados en los pozos de observación

Se estimaron los niveles subterráneos para cada pozo bajo cada escenario, resultados que se resumen en la Tabla 5.10 (escenario futuro 2020-2050 versus periodo histórico 1985-2019). La evolución temporal se incluye en detalle en la sección 8.3.5.2 del Anexo H. Los resultados muestran un generalizado descenso de los niveles subterráneos, los que en el Escenario BAU corresponden en promedio a 3,8 (m) para los cuatro pozos. Los descensos se ven acrecentados en el resto de los escenarios, siendo el Escenario de Gestión N°3 el más severo, con un descenso promedio de 10,8 (m) en los cuatro pozos, respecto al periodo histórico. Al comparar los descensos en los Escenarios de Gestión N°1 y N°2, donde la única diferencia corresponde al aumento de bombes por parte de las sanitarias, se tiene un descenso que pasa de 5,6 (m) a 8,6 (m).

**Tabla 5.10 Resumen de descensos proyectados (m) en cada escenario respecto al periodo histórico**

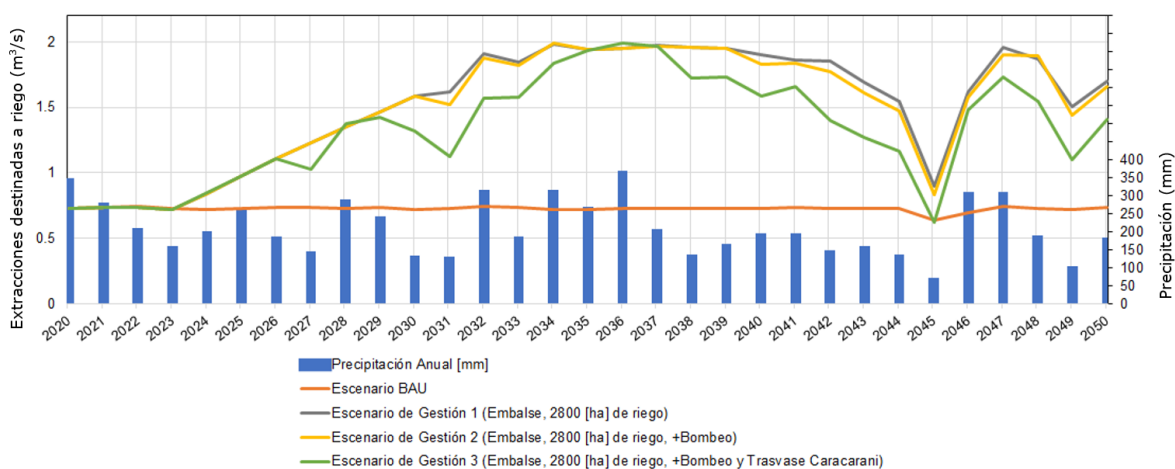
Pozo	Escenario BAU Descenso (m)	Escenario de Gestión N°1 Descenso (m)	Escenario de Gestión N°2 Descenso (m)	Escenario de Gestión N°3 Descenso (m)
J-1	6,2	7,9	12,7	15,1
J-A	5,0	7,2	11,5	14,5
J-2	2,8	4,7	6,7	9,0
J-B	1,2	2,5	3,3	4,4
<b>Promedio</b>	<b>3,8</b>	<b>5,6</b>	<b>8,6</b>	<b>10,8</b>

Fuente: elaboración propia.

## Extracciones destinadas a riego

En la Figura 5.15 se comparan las extracciones agrícolas anuales en cada escenario, junto con la precipitación media anual. Al tomar como referencia el Escenario BAU (con un área de riego constante en el periodo futuro y una demanda de 0,73 m<sup>3</sup>/s), y se compara con los escenarios de gestión que consideran al embalse Chironta en funcionamiento, las demandas pueden crecer a más del doble (hasta los 2 m<sup>3</sup>/s) si la disponibilidad hídrica, dada por las precipitaciones en la zona alta, lo permite.

Sin embargo, es importante destacar que, para todos los escenarios de gestión, se proyectan posibles periodos en los cuales las demandas (bajo el escenario de 2.800 ha regadas) no son necesariamente suplidas, en particular para ciertos años, o periodo de años en los cuales la precipitación anual es muy baja en relación al promedio histórico.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 5.15 Extracciones agrícolas proyectadas para el Valle de Lluta y el Sector Costero.**

## 5.6 Brechas de Información

### 5.6.1 Hidrogeología

No se cuenta con mucha información hidrogeológica de la subcuenca de Lluta Alto, la cual de cara a los antecedentes preliminares debiera almacenar un acuífero de mediano interés.

Así mismo, no se cuenta con información de la profundidad a la que se espera encontrar aguas fósiles.

### 5.6.2 Actividad Económica

No se cuenta con un detalle de las actividades económicas realizadas en la cuenca, específicamente a la generación de ingresos a la región.

### 5.6.3 Glaciares

No se cuenta con información del mapeo y monitoreo de los glaciares de la cuenca, que permita realizar una estimación del aporte real a la oferta hídrica de la cuenca.

### 5.6.4 Mercado de Aguas

No se cuenta con información local del mercado de aguas en la cuenca del río Lluta, no pudiendo determinar el valor real del agua en la zona de estudio.

### 5.6.5 Brechas para la modelación numérica

Se presentan a continuación las principales brechas identificadas durante la modelación numérica, en relación a los antecedentes requeridos y a aspectos propios de los modelos numéricos. Mayores antecedentes se entregan en la sección 10.2 del Anexo H. Dado que todos los resultados del Capítulo 5 se han obtenido a partir de los resultados de la modelación hidrológica, vale la pena tener presente estas brechas y reconocer así las implicancias sobre los resultados esperados. En la sección 10.3 del Anexo H se entrega una serie de recomendaciones asociadas a cada una de las brechas identificadas.

- Uso de suelo agrícola en el Valle de Lluta: Se incorporan áreas desde datos puntuales (Censos 1997 y 2007). Se requeriría mayores antecedentes para poder justar de mejor manera la demanda agrícola.
- Datos fluviométricos en la estación río Lluta en Tocontasi (RLT): Pese a su ubicación estratégica en la cuenca, no cuenta con una cantidad y calidad de datos que permitan considerar a la serie de caudales como parte de la modelación y calibración.
- Medición de temperatura en la parte alta de la cuenca: La parte alta de la Cuenca del Río Lluta no cuenta con suficiente información in situ tomada a partir de estaciones meteorológicas puntuales.
- Demanda hídrica antrópica en el sector Putre y Socoroma: Si bien, al igual que en el caso del Valle del Lluta, se han incorporado las áreas de riego de estos sectores a partir de los Censos Agropecuarios de 1997 y 2007, no se puede establecer claramente las especificaciones de los cultivos desarrollados, considerando que en estas zonas además corresponden a áreas de riego y de secano.
- Monitoreo de niveles del acuífero: Solo se cuenta con un registro histórico de niveles en 4 puntos de la cuenca. No existen registros continuos en el resto del sistema.
- Geometría del Acuífero: Desde las primeras exploraciones de agua subterránea en el Valle de Lluta (DGA, 1995), se ha registrado un nivel confinante de alrededor de 5 metros de espesor, a una profundidad entre 30 y 50 metros, que separaría un acuífero superior de uno inferior desde el sector de Chacabuco hacia aguas abajo. Durante el desarrollo de este trabajo, no se consideró necesario la incorporación de este nivel, discretizando el modelo en una sola capa que abarca a ambos acuíferos, en base al modelo existente (ESSAT, 1998a), y a la

habilitación de los pozos de observación y principales captaciones en la zona. Sin embargo, la ausencia de este nivel en el modelo puede ser una de las causas de la incapacidad de ajustar los niveles en el tiempo reciente.

- Influencia de aluviones: Se desconoce la influencia de los eventos aluvionales en la relación río-acuífero, es posible que estos eventos alteren el lecho del río, modificando su conductividad hidráulica vertical, por ende, el flujo entre los dos sistemas
- Extracciones efectivas de agua subterránea: A pesar de los esfuerzos de reducir la incertidumbre respecto a las extracciones efectivas, existen importantes vacíos de información respecto a la explotación del agua subterránea en el valle.
- Infiltración desde canales de regantes: Existe un gran número de canales a lo largo del valle del río Lluta, los cuales se encuentran en diversos estados de conservación. Por simplificación, estos canales no fueron incorporados al modelo numérico debido a lo irregular de su trazado, desconocimiento de su operación y difícil conceptualización de la conductancia de su lecho.
- Curvas de descarga: Se requiere realizar campañas de aforo en distintos puntos de los ríos principales de la cuenca, para contar con representación de la interacción río y acuífero en más tramos.

## 6. ACCIONES

En este capítulo se presentan tanto los ejes y objetivos del plan, así como un levantamiento de acciones e iniciativas a considerar en el PEGH para la cuenca.

Así mismo se incluye un análisis de las relaciones entre los ejes y objetivos propuestos en función de las brechas identificadas tanto en las etapas de descripción, caracterización y modelación de la cuenca, así como desde las actividades de PAC desarrolladas a lo largo del PEGH.

También se levanta la cartera de iniciativas vigente incorporando una ficha resumen con las principales características de cada una de éstas. Las iniciativas son categorizadas según 4 tipologías: Obras de infraestructura (OI), Medidas de gestión hídrica (MG), Nuevas fuentes de agua (NF) y Otras medidas (OM).

Finalmente, a partir de la información ya levantada en estudios previos relevantes (que se menciona en la sección 6.1) sumada al trabajo de descripción y diagnóstico de la cuenca, desarrollado por esta consultoría, se presenta el listado de acciones que fueron discutidas en las actividades de PAC.

### 6.1 Ejes y Objetivos para el PEGH

Los ejes y objetivos para la definición de acciones en el marco del PEGH del Lluta fueron propuestos a partir de los objetivos de la licitación y de la revisión de los principales antecedentes, entre los cuales destacan:

- Planes previos de la DGA y CNR:
  - Plan de acción estratégico para el desarrollo hídrico de la región de Arica y Parinacota (DGA, 2010)
  - Análisis integral de soluciones a la escasez hídrica, (Primera Parte), región de Arica y Parinacota (DGA, 2016)
  - Análisis integral de soluciones a la escasez hídrica, (Segunda Parte), región de Arica y Parinacota (DGA, 2017d)
  - Diagnóstico para desarrollar plan de riego en región de Arica y Parinacota (CNR, 2016)
- Banco integrado de proyectos del Ministerio de Desarrollo Social<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> Web del Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social, <http://bip.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/>

- Información recogida en las actividades de PAC, tanto reuniones como talleres.

La Tabla 6.1 presenta los ejes y objetivos planteados para el plan. Cabe señalar que este conjunto de ejes y objetivos se basa tanto en los lineamientos planteados para la cuenca en otros estudios relevantes, los lineamientos DGA vigentes, así como los lineamientos planteados por la Mesa Nacional del agua.

**Tabla 6.1 Ejes y Objetivos propuestos para PEGH Cuenca del Lluta**

Eje	Nombre de eje	N°	Objetivos para definición de Acciones del Plan
1	Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos	1	Reducir las brechas entre oferta y demanda de agua considerando cambio climático, sequía e inundaciones.
		2	Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable urbana, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
		3	Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
		4	Conservar y/o mejorar el estado de la infraestructura hidráulica actual.
		5	Gestión de riesgos
2	Información y monitoreo del recurso hídrico	1	Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares).
		2	Gestión de información
3	Gestión y gobernanza del agua	1	Promover y revitalizar la alianza público - privada en materia hídrica.
4	Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico	1	Conservar y/o mejorar el estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas.
		2	Proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.

Fuente: elaboración propia

## 6.2 Cartera de iniciativas de inversión vigentes

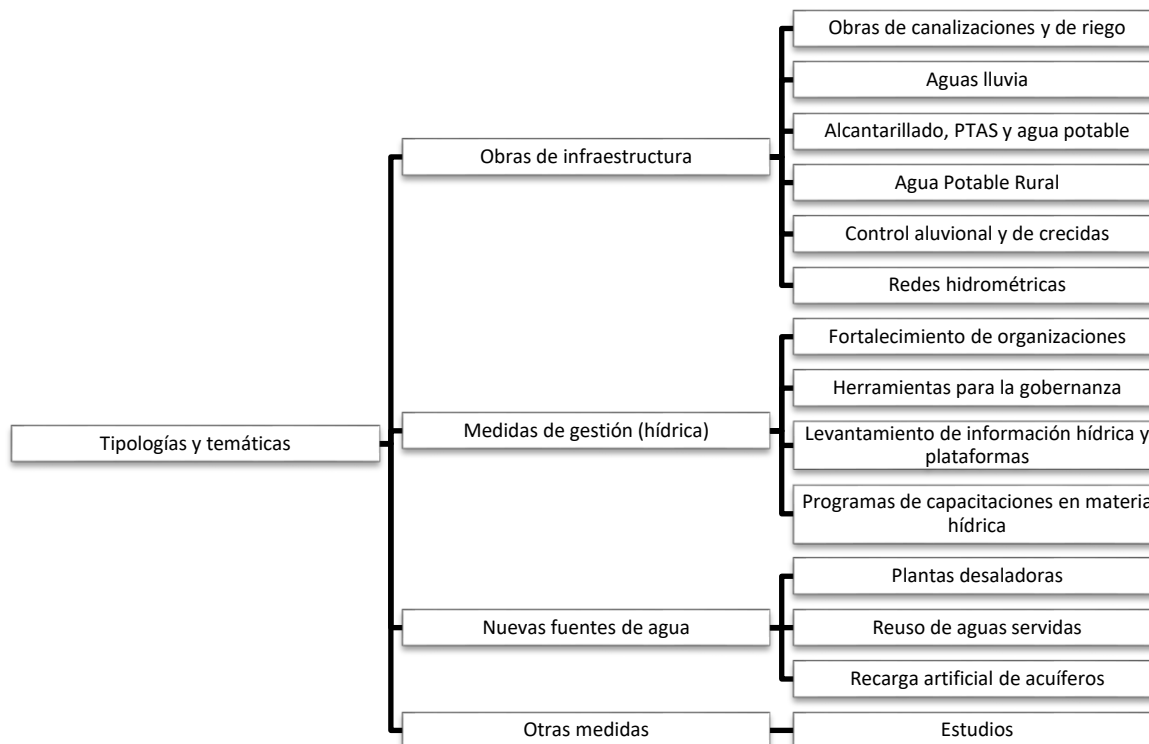
Para el análisis de objetivos, ejes e iniciativas, se levantó un total de 22 iniciativas de inversión vigentes para la cuenca, las que se suman a otras 42 iniciativas de carácter interregional de las cuales no se dispone un detalle claro y cuantificado sobre su inversión en la cuenca, ya que involucran varias regiones y en algunos casos son de alcance nacional. Esta información fue extraída desde la página web del Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social y Familia, Sección BIP Consulta<sup>20</sup>.

Por lo tanto, en estas secciones serán presentadas las iniciativas de inversión relacionadas directamente con la cuenca, según 4 tipologías (OI, MG, NF, OM) e incorporando una breve descripción de contexto en la cuenca. En una sección aparte serán listadas las iniciativas de inversión del tipo "interregional".

<sup>20</sup> Sección "BIP Consulta", Banco Integrado de Proyectos, Ministerio de Desarrollo Social, <http://bip.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/>

Así mismo, se incluye un breve diagnóstico de cada una de las tipologías identificadas desde este levantamiento de iniciativas de inversión y algunas recomendaciones de acciones que son posteriormente levantadas para el plan de acción de la cuenca o quedan reflejadas como brechas para abordar en una etapa futura.

En la Figura 6.1 se presenta un esquema que incluye las tipologías indicadas, así como algunos ejemplos de temáticas asociadas a cada una de ellas, para de este modo clasificar la cartera de iniciativas vigentes para la cuenca.



Fuente: elaboración Propia

**Figura 6.1 Clasificación a considerar para las Iniciativas Hídricas levantadas**

Tomando esta clasificación como referencia, a continuación será desarrollada una descripción de los tipos de iniciativas de la Figura 6.1, incluyendo las iniciativas vigentes, un diagnóstico y recomendaciones.

### 6.2.1 Obras de Infraestructura

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, entre las que se cuentan obras mayores, como embalses, obras menores, tanto para riego como para agua potable y red de aguas servidas, APR, tecnificación y revestimiento, control aluvional y de crecidas, mejoramiento de la red hidrométrica DGA, entre otras.

**Obras mayores: Embalses**

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, específicamente embalses, considerados obras mayores. En este ítem, se entiende por Obra Mayor, como los embalses con capacidad superior a 50.000 m<sup>3</sup> o con muros superiores a 5 metros de altura, según se indica en el Código de Aguas.

**Diagnóstico**

- Actualmente no se cuenta con embalses materializados en la cuenca
- Se encuentra en proceso de construcción el embalse Chironta, cuya obra se inició en mayo de 2017. Este embalse contará con una capacidad de almacenamiento de 17 hm<sup>3</sup>.

**Iniciativas vigentes**

La Tabla 6.2 presenta las iniciativas de la cartera de inversión vigente para obras mayores:

**Tabla 6.2 Iniciativas en cartera de inversiones públicas MIDESO categorizadas como obras mayores**

Tipología cartera vigente	Código BIP	Descripción	Tipología	Subsector	Institución financiera	Costo total (M\$)
Obras mayores	30034659-0	Construcción embalse Chironta Valle de Lluta. Año y Etapa a financiar: 2021 - Ejecución	Proyecto	Riego	Sectorial	113.353.369

Fuente: página web de Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social y Familia.

**Obras menores: infraestructura de riego**

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, específicamente obras menores de infraestructura de riego.

**Diagnóstico**

- No se actualizan técnicas de riego, prevaleciendo las de tipo tradicional, asociado a terrazas. En algunos casos se cuenta con sistemas de riego más tecnificados (cultivos de papa y maíz).
- Necesidad de obras de acumulación y canalización de aguas.
- Las deficiencias más comunes encontradas en los canales catastrados corresponden a falta de mantenimiento general encontrándose canales y obras anexas embancados, con piedras y vegetación creciendo dentro de los canales. Se requiere ubicar desarenadores aguas arriba de las bocatomas en los cauces principales y donde ya existen se requiere mantención.

- En las entregas prediales se catastraron varias compuertas oxidadas, en mal estado o derechamente en condiciones inadecuadas para operar. También se detectaron bocatomas en mal estado, bocatomas rudimentarias o artesanales.

### **Iniciativas vigentes**

La Tabla 6.3 presenta las iniciativas de la cartera de iniciativas de inversión vigente para obras menores de infraestructura de riego:

**Tabla 6.3 Iniciativas en cartera de inversiones públicas MIDESO categorizadas como obras menores de infraestructura de riego**

<b>Tipología cartera vigente</b>	<b>Código BIP</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipología</b>	<b>Subsector</b>	<b>Institución financiera</b>	<b>Costo total (M\$)</b>
Obras menores, canalizaciones y riego	30081889-0	Conservación de obra fiscal de riego, pretiles río Azufre XV región. Año y Etapa a financiar: 2021 - Ejecución	Programa	Riego	Sectorial	1.564.393
Obras menores, canalizaciones y riego	40010283-0	Transferencia programa inversión en fomento al riego región de Arica y Parinacota. Año y etapa a financiar: 2021 - Ejecución	Programa	Riego	F.N.D.R.	4.187.461
Obras menores, canalizaciones y riego	40020650-0	Conservación obras de riego fiscales XV región. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Riego	Sectorial	622.701
Obras menores, canalizaciones y riego	40024493-0	Conservación obras de riego fiscales pretiles río Azufre. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Riego	F.N.D.R.	971.374
Obras menores, canalizaciones y riego	40025987-0	Conservación obras riego fiscales región de Arica y Parinacota 2020 - 2023 - Recup. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Riego	Sectorial	17.770.895

Fuente: página web de Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social y Familia.

### **Obras menores: agua potable urbana y red de aguas servidas**

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, específicamente obras menores de agua potable urbana y red de aguas servidas.

#### **Diagnóstico**

- La comuna de Arica cuenta con agua potable urbana y saneamiento (alcantarillado) por parte de la Empresa Aguas del Altiplano

**Iniciativas vigentes**

La Tabla 6.4 presenta las iniciativas de la cartera de iniciativas de inversión vigente para obras menores de agua potable urbana y red de aguas servidas:

**Tabla 6.4 Iniciativas en cartera de inversiones públicas MIDESO categorizadas como obras menores de agua potable urbana y red de aguas servidas**

Tipología cartera vigente	Código BIP	Descripción	Tipología	Subsector	Institución financiera	Costo total (M\$)
Alcantarillado, TPAS y/o agua potable	30203322-0	Construcción sistema tratamiento aguas servidas Sta. Rosa Poconchile. Año y Etapa a financiar: 2021 - Ejecución	Proyecto	Evacuación disposición final aguas servidas	F.N.D.R.	649.218
Alcantarillado, TPAS y/o agua potable	40004813-0	Diagnóstico y propuestas de sistemas de acumulación en precordillera región de Arica. Año y etapa a financiar: 2021 - Ejecución	Estudio básico	Riego	Sectorial	160.089

Fuente: página web de Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social y Familia.

**Agua Potable Rural (APR)**

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, específicamente de Agua Potable Rural (APR).

**Diagnóstico**

- En la cuenca se contabilizan 5 sistemas de agua potable rural (SAPR) operativos, de los cuales 2 se ubican en la comuna de Arica, 2 en Putre y 1 en la comuna General Lagos.
- El APR Villa Frontera no cuenta con fuente propia
- La red de aguas servidas es una problemática a nivel de cuenca y regional
- La mayoría de los SAPR existentes no están acompañados de un sistema de saneamiento de aguas servidas.

**Iniciativas vigentes**

La Tabla 6.5 presenta la cartera de iniciativas de inversión vigente para APR:

**Tabla 6.5 Iniciativas en cartera de inversiones públicas MIDESO categorizadas como APR**

Tipología cartera vigente	Código BIP	Descripción	Tipología	Subsector	Institución financiera	Costo total (M\$)
APR	30397027-0	Conservación de riberas cauces naturales varios sectores REG. AYP. Año y Etapa a financiar: 2021 - Ejecución	Proyecto	Defensas fluviales, marítimas y cauces naturales	F.N.D.R.	5.336.170
APR	30447684-0	Construcción sistema APR Chucuyo, comuna Putre. Año y etapa a financiar: 2021 - Ejecución	Proyecto	Agua potable	Sectorial	655.348
APR	4007261-0	Mejoramiento integral sistema de agua potable rural de Socoroma, comuna de Putre. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	Sectorial	987.461
APR	40016163-0	Conservación, mantención y ampliación sistemas APR, región de Arica y Parinacota (Glosa 5). Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	Sectorial	3.497.671
APR	40028460-0	Construcción sistema SSR Pampa San Martín, comuna Arica. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	Sectorial	1.014.177
APR	40028460-0	Conservación especial servicio sanitario rural Putre. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	F.N.D.R.	217.655
APR	40030459-0	Conservación, mantención y ampliación sistemas APR, región de Arica y Parinacota (Glosa 5). Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	Sectorial	891.732

Fuente: página web de Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social y Familia.

### **Obras menores: tecnificación y revestimiento**

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, específicamente obras menores de tecnificación y revestimiento.

#### ***Diagnóstico***

- El recurso hídrico en temporada invernal se encarece producto de la casi nula pluviosidad. Por otro lado, en período estival el aumento de caudal debido a las lluvias causa crecidas que destruyen infraestructura de riego. El problema de déficit hídrico agudiza conflictos entre el uso del agua para la agricultura y otros usos, como el consumo potable para la ciudad de Arica, usos ancestrales y

ambientales. Es necesario realizar mejoras en obras hidráulicas que permitan aumentar la eficiencia en la distribución del agua y su acumulación para temporadas de escasez.

- La producción pecuaria se lleva a cabo a escala familiar, situación que se ha desarrollado por no contar con un matadero establecido que permita vender legalmente sus productos. Falta matadero para comercializar carne local.
- Se requiere de la evaluación de implementación de iniciativas de tecnificación del riego y uso de energía fotovoltaica.
- Pese a que existe gran cantidad de canales revestidos, muchos de ellos son revestimientos antiguos en mampostería u hormigón que no han tenido un correcto mantenimiento a través del tiempo, haciendo un uso ineficiente del recurso hídrico. El mejoramiento de los revestimientos de canales permitiría disminuir pérdidas en transporte y usar de mejor manera el recurso hídrico.

### ***Iniciativas vigentes***

La cartera de inversión vigente de MIDESO no incluye iniciativas de Obras menores: tecnificación y revestimiento.

### **Obras menores: control aluvional y de crecidas**

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, específicamente obras menores de control aluvional y crecidas.

#### ***Diagnóstico***

- Varios tramos del río Lluta cuentan con obras de protección y defensas fluviales, en la subcuenca del Río Lluta Bajo
- En la subcuenca del Río Lluta Alto existen algunos sectores en los que se han instalado defensas fluviales para mejorar la conectividad de los caminos, asociados a puentes y alcantarillas.

### ***Iniciativas vigentes***

La Tabla 6.6 presenta la cartera de iniciativas de inversión vigente para obras menores, de control aluvional y de crecidas:

**Tabla 6.6 Iniciativas en cartera de inversiones públicas MIDESO categorizadas como obras menores para control aluvional y de crecidas**

Tipología cartera vigente	Código BIP	Descripción	Tipología	Subsector	Institución financiera	Costo total (M\$)
Control aluvional y de crecidas	40016339-0	Conservación de riberas de cauces naturales XV región 2019 - 2021. Año y Etapa a financiar: 2021 - Ejecución	Proyecto	Defensas fluviales, marítimas y cauces naturales	Sectorial	4.524.054
Control aluvional y de crecidas	40020324-0	Diagnóstico y comportamiento aluvional de las quebradas afluentes en cuenca río Lluta. Año y etapa a financiar:2021 - Ejecución	Estudio básico	Defensas fluviales, marítimas y cauces naturales	Sectorial	133.580
Control aluvional y de crecidas	40020666-0	Conservación de riberas de cauces naturales varios sectores de la región de Arica y Parinacota. Año y etapa a financiar:2021 - ejecución	Proyecto	Defensas fluviales, marítimas y cauces naturales	F.N.D.R.	4.401.053
Control aluvional y de crecidas	40025941-0	Conservación de riberas región de Arica y Parinacota 2020-2023. Año y etapa a financiar:2021 - ejecución	Proyecto	Defensas fluviales, marítimas y cauces naturales	Sectorial	21.165.746

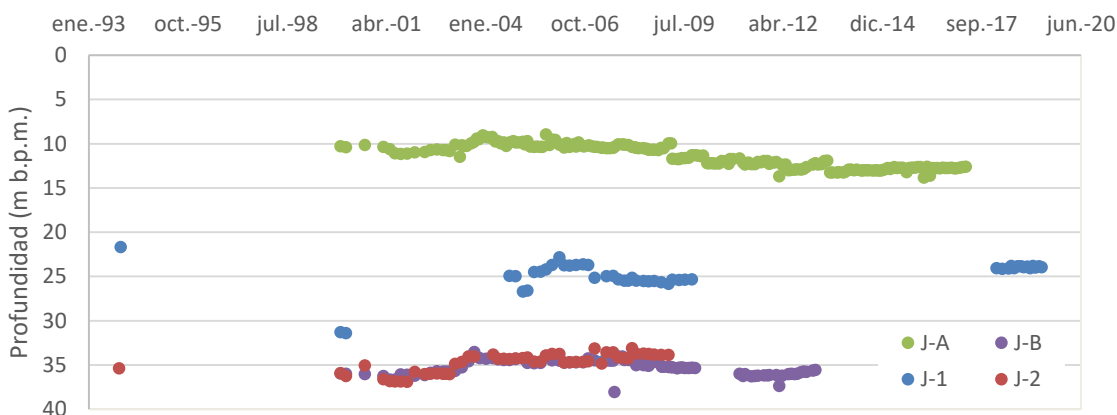
Fuente: página web de Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social y Familia.

### **Obras menores: Red hidrométrica DGA**

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, específicamente obras menores de la red hidrométrica DGA.

#### ***Diagnóstico***

Los registros de niveles estáticos son escasos y discontinuos en el acuífero del río Lluta. Solo existen 4 pozos (pozos "Jica") en la parte baja del acuífero que tienen un registro más extenso/continuo (Figura 6.2), y actualmente solo hay uno de ellos con mediciones reportadas por la DGA. No se sabe porque dejaron reportar niveles en los otros tres pozos. Además, existen derechos sobre los pozos J-A y J-2.



Fuente: elaboración propia

**Figura 6.2 Niveles estáticos en los 4 pozos de largo registro, de pozos JICA.**

Espacialmente la información de niveles en otras partes del modelo aguas arriba y en la zona de desembocadura está limitada a mediciones puntuales, no existen un punto de monitoreo continuo en el tiempo.

### ***Iniciativas vigentes***

La cartera de inversión vigente de MIDESO no incluye explícitamente Obras menores: Red hidrométrica DGA para esta cuenca.

### ***Recomendaciones***

Para cerrar estas brechas se recomienda mejorar la red hidrométrica, específicamente el componente de medición de niveles estáticos.

- Se debe retomar el monitoreo en los tres pozos Jica que no tienen mediciones reportadas actualmente.
- Si no es posible retomar medición en un pozo antiguo se recomienda perforar un nuevo piezómetro o pozo dedicado exclusivamente al monitoreo, lo más cerca posible al pozo Jica antiguo.
- Se debe ampliar la red de niveles estáticos con la construcción de nuevos pozos aguas arriba (sectores media y alta) y la zona de desembocadura. Es recomendable perforar pozos o piezómetros propios con dedicación exclusiva al monitoreo.
- Se recomienda frecuencia de monitoreo mensual de niveles estáticos

### **Otras obras**

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, específicamente otras obras menores.

**Diagnóstico**

- La actividad agropecuaria se ve limitada por la falta de electrificación, agua potable, conectividad (red de caminos y construcción de puentes) y comunicación telefónica. Falta de necesidades básicas complementarias al desarrollo agropecuario, como electricidad, agua potable, comunicación telefónica y conectividad de caminos.
- En el río Azufre existen pretiles que mitigan la contaminación natural del río Lluta, los que poseen 14 estanques evaporadores. Esta obra atiende un caudal promedio de 150 l/s.
- La construcción de estos fue el año 1967, y han sido continuamente reparados hasta el 2016.

**Iniciativas vigentes**

En la Tabla 6.7 se observan las iniciativas vigentes referidas a otro tipo de obras menores.

**Tabla 6.7 Iniciativas en cartera de inversiones públicas MIDESO categorizadas como otras obras menores.**

Tipología cartera vigente	Código BIP	Descripción	Tipología	Subsector	Institución financiera	Costo total (M\$)
Mejoramiento calidad de aguas	40014006-0	Transferencia tecnológica en calidad de aguas en la cuenca del río Lluta. Año y Etapa a financiar: 2021 - Ejecución	Programa	Riego	Sectorial	173.502
Mejoramiento calidad de aguas	40020240-0	Diagnóstico para el mejoramiento calidad del agua río Colpitas. Año y etapa a financiar: 2021 - Ejecución	Estudio básico	Riego	Sectorial	226.511
Mejoramiento calidad de aguas	40020242-0	Diagnóstico obras mejoramiento calidad agua río Azufre. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Estudio básico	Riego	Sectorial	476.990

Fuente: página web de Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social y Familia.

**6.2.2 Medidas de Gestión**

A continuación, se presentan diagnósticos y recomendaciones o acciones tomadas referentes a gestión, entre las cuales están incluidas de gobernanza, sistemas de información, información sobre extracciones, información sobre derechos, capital humano y fortalecimiento y formalización de las OUA.

## **Gobernanza**

Este punto se refiere a las instancias y/o herramientas que son necesarias para dar cuenta de la gestión y coordinación entre los actores de interés para lograr la gobernanza de la Cuenca del Lluta.

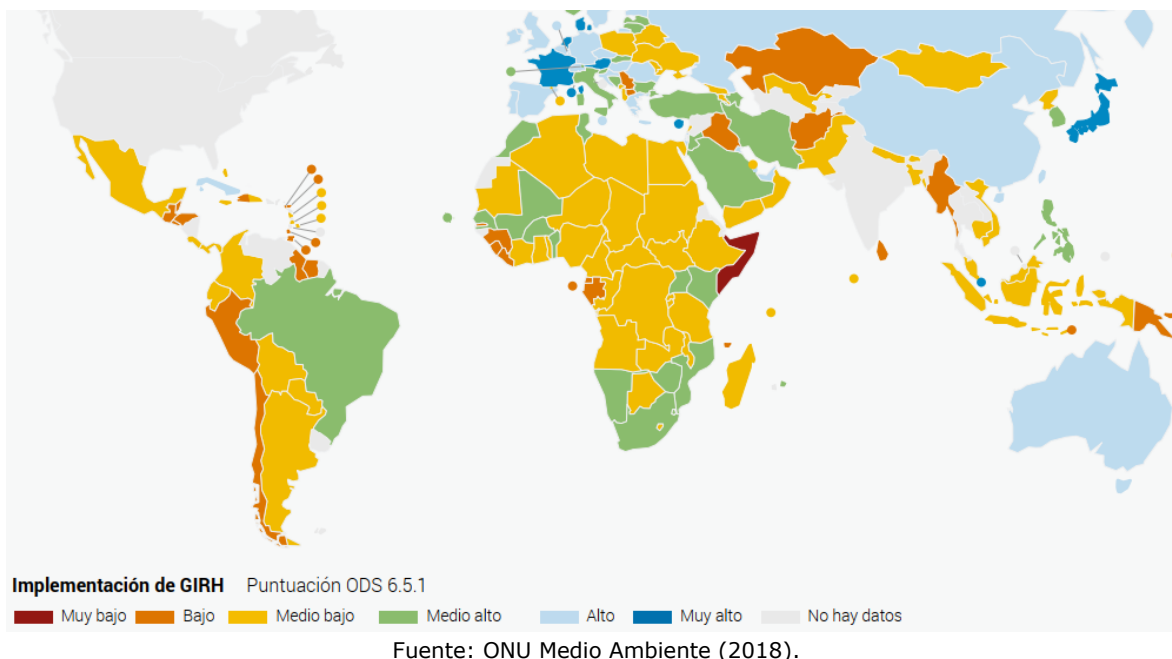
### ***Diagnóstico***

Para el logro de una buena gestión, es necesario promover la participación y colaboración de todos los agentes en la cuenca, la que puede apoyarse en la labor de la Junta de Vigilancia del Río Lluta, quienes son un actor central en la gestión del recurso hídrico, la que debiera ser potenciada por la DGA como administrador central del PEGH.

En este contexto, se hace relevante mencionar y trabajar bajo la mirada de una Gestión Integrada del Recurso Hídrico, GIRH, desde los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En este sentido el ODS 6 recoge acciones propuestas por varios países para dar una idea de cómo avanzarán en la implementación de la GIRH para 2030. Esta Gestión Integrada es una construcción social, técnica y política que busca generar un contexto que permita la gobernanza del recurso. Esto es producto de diversas situaciones, como los comportamientos de los ecosistemas, mutaciones del tipo y cantidad de las precipitaciones, entre otras situaciones.

En particular el ODS 6.5.1 plantea como meta “para 2030, poner en práctica la GIRH a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda” y la medición de este indicador, pretende medir el Grado de implementación (0-100%) de la gestión integrada de los recursos hídricos.

Ahora bien, al evaluar para Chile el avance de este ODS 6.5.1, se verifica un retraso con respecto a los compromisos adquiridos en el marco de la gestión integrada de este recurso, tal como muestra la Figura 6.3, que señala un nivel de cumplimiento “bajo” de estos requerimientos.



**Figura 6.3 Mapa mundial de la Evaluación del ODS 6.5.1<sup>21</sup>**

Ahora bien, y como fue señalado, la Junta de Vigilancia del río Lluta es la que presenta un gran nivel de organización e información, contando con buenas redes en la región, que permiten que sea un buen aliado de DGA en la implementación de este PEGH, pero que debe ser fortalecido con capacitaciones a sus miembros en nuevas tecnologías de producción agrícola, y de administración del recurso, sobre todo considerando el contexto de inicio de funcionamiento del embalse Chironta.

Pensando en la gobernanza de la Cuenca, existe una disparidad de capacidades técnicas y organizacionales entre OUA, en particular a nivel de Comunidades de Aguas asentadas en la parte alta de esta cuenca, las que deben homogeneizarse para dar cuenta de un buen proceso de gestión del recurso. Esto significa que se debe procurar que las organizaciones efectivamente operativas/vigentes puedan contar con las mismas capacidades de gestión, nivelando las mismas, con el fin de que éstas permitan gestionar de buena manera el PEGH. Un aspecto relevante en este tema es el rol de las mujeres, tanto en la Junta de Vigilancia del río Lluta, como en las APR de la cuenca, las que desarrollan una fuerte labor de trabajo comunitario en función del recurso hídrico para la producción agrícola y de consumo humano. Este es un aspecto que debe ser relevado en la implementación de un PEGH en esta Cuenca.

<sup>21</sup> ONU Medio Ambiente (2018). Progreso sobre gestión integrada de recursos hídricos. Referencia global para el indicador ODS 6 6.5.1: Grado de aplicación de la ordenación integrada de los recursos hídricos (0-100)., [en línea] [https://www.unwater.org/app/uploads/2019/02/ES-Guide-ES\\_Final-webPDF.pdf](https://www.unwater.org/app/uploads/2019/02/ES-Guide-ES_Final-webPDF.pdf) (visitado por última vez el 27/05/2021)

Por otra parte, las instancias de participación en la cuenca del río Lluta no se realizan en las escalas recomendadas para una gestión hídrica adecuada (cuenca/ subcuenca hidrográfica), lo que puede complicar la implementación de cualquier plan que implique a todos los actores de ésta. Se observa una desconexión entre la Junta de Vigilancia, que opera en la parte baja de la Cuenca, con las comunidades de agua de la parte superior de la cuenca, situación planteada en el proceso PAC, evidenciando un problema de gobernanza entre las organizaciones de la zona que debe ser trabajado al momento de implementar el PEGH.

A esta situación se suma el que no existen instancias de participación y coordinación entre miembros de las OUA, APR, Comunidades indígenas y Juntas de vecinos, de forma macro-organizacional, lo que también puede estar relacionado con los conflictos que se presentan a la hora de distribuir el recurso en la cuenca.

Además, las capacidades técnicas y organizacionales entre los distintos actores de la cuenca, son dispares, sin elementos que permitan una buena gestión en la mayoría de éstas, que den cuenta de un manejo informado y coordinado del recurso, donde las relaciones y coordinaciones con distintos organismos públicos y privados se ven afectadas.

Ahora bien, las relaciones entre los actores para la gobernanza se ven afectadas por una idea mantenida por los actores comunitarios frente a Mineras y Sanitaria, ya que culpan a los dos últimos de la contaminación de las aguas de la cuenca en la parte baja, no considerando que parte del recurso que reciben procede del río Azufre, que tiene de forma natural una mala calidad.

Esto se entronca con una situación que no es menor, mencionada en el proceso de PAC: la desconfianza que muchos actores presentan ante la acción de DGA, y de los organismos que trabajan en la zona, la que suponemos se debe a la falta de información adecuada. Si se quiere que los actores comunitarios de la zona participen adecuada y activamente en la implementación del PEGH se requiere confrontar estas brechas de información ante todos los tipos de actores comunitarios y mejorar la coordinación entre los servicios del Estado y todos los demás actores de la cuenca.

### ***Iniciativas vigentes***

La cartera de inversión vigente de MIDESO no incluye iniciativas de Gobernanza para esta cuenca.

## **Sistemas de información**

A continuación, se presentan diagnósticos, recomendaciones o medidas vigentes, referentes a medidas de gestión, en particular a sistemas de información.

### ***Diagnóstico***

- Necesidad de una mayor transparencia y difusión de la información manejada por servicios públicos, considerando el desarrollo de plataformas. Como ya fue mencionado anteriormente, también existe un desconocimiento de las funciones, atribuciones e información generada por SSPP en materia hídrica.
- Falta de regularización y perfeccionamiento de derechos de aprovechamiento aguas.

### ***Iniciativas vigentes***

La cartera de inversión vigente de MIDESO no incluye iniciativas de sistemas de información para esta cuenca.

## **Información sobre extracciones**

A continuación, se presentan diagnósticos, y recomendaciones o acciones vigentes, referentes a medidas de gestión, en particular a información sobre extracciones.

### ***Diagnóstico***

El mayor usuario de agua subterránea en la zona es ESSAT (hoy en día denominado Aguas del Altiplano), luego, solo se posee información de extracciones para el periodo 1996-2000 y 2015-2020 (junio), 2001 a 2014 es interpolación y criterio. Al ser quien más consume, tener solo estimaciones de su volumen extraído conlleva demasiada incertidumbre en el balance/modelación.

### ***Recomendaciones***

La DGA debe solicitar información pública/privada que permita una mejor estimación del volumen extraído para el periodo 2001-2014, si es caudal individual por pozo, mejor.

## **Información sobre derechos**

A continuación, se presentan diagnósticos, y recomendaciones o acciones vigentes, referentes a medidas de gestión, en particular a información sobre derechos.

### ***Diagnóstico***

Las coordenadas de los pozos en el CPA son deficientes, al contrastar con imágenes satelitales algunos se encuentran en zonas donde claramente no hay un pozo, o con un

nivel estático reportado durante la construcción, no coincidentes con otros pozos. Se pudieron corregir varios en base al expediente digitalizado, sin embargo, aún falta.

### ***Recomendaciones***

Se debe corroborar en base a distintas fuentes, o trabajo en terreno, la ubicación de los derechos otorgados en la zona.

### **Capital humano**

A continuación, se presentan diagnósticos, y recomendaciones o acciones vigentes, referentes a medidas de gestión, en particular a capital humano.

#### ***Diagnóstico***

- Se necesita capacitación aplicada en temas relacionados con el uso eficiente del agua de riego y la correcta mantención de los equipos, promoviendo el uso de sistemas de cultivo tecnificado, esto con un pertinente seguimiento de los resultados.
- Se necesita mayor profesionalización y/o fortalecimiento de capacidades técnicas de comités de APR así como a la Junta de Vigilancia presente en la cuenca.

### **Fortalecimiento y formalización de las OUA**

A continuación, se presentan diagnósticos, y recomendaciones o acciones vigentes, referentes a medidas de gestión, en particular al fortalecimiento y formalización de las OUA.

#### ***Diagnóstico***

- En la práctica existen OUA, pero muchas de ellas están inactivas. Muchas veces son organizaciones tradicionales las que asumen funciones que les corresponderían a las OUAs. Por otra parte, el sector Lluta alto, no reconoce a la Junta de Vigilancia del Río Lluta como administradora de la totalidad de la cuenca, pues creen su realidad diferente a la que se vive en la parte baja.
- En el sector de Lluta bajo, la junta de vigilancia posee una importante capacidad de organización, situación que contrasta con la realidad que define a las otras comunidades de aguas.
- Se requieren proceso de regularización y fortalecimiento de capacidades de autogestión de comunidades de agua externas a la Junta de vigilancia del Río Lluta.
- Se solicita autonomía sobre el recurso hídrico, sobre todo por conflictos que se presentan actualmente con la comunidad Juan de Dios Aranda, pues ésta es dueña de vertientes de agua y terrenos en que se habilitarían proyectos públicos enfocados en el desarrollo de la población que reside en el sector.

### ***Iniciativas vigentes***

La cartera de inversión vigente de MIDESO no incluye iniciativas de fortalecimiento Y formalización de OUA para esta cuenca.

#### **6.2.3 Otras medidas**

A continuación, se presentan otros diagnósticos y medidas, en caso que existan, que no caen dentro de las temáticas anteriores.

### **Conocimiento en materia hídrica**

A continuación, se presentan diagnósticos, y recomendaciones o acciones vigentes, referentes a otras medidas, en particular al conocimiento en materia hídrica.

#### ***Diagnóstico***

- Existe una agricultura limitada, en comparación al valle de Azapa. por la baja calidad de sus aguas de riego, períodos de escasez hídrica, algunas plagas y enfermedades. También existen restricciones para el uso de aguas subterráneas debido a su alta salinidad y elevados contenidos de boro, sulfato, cloruro y arsénico. Se necesita investigación respecto de nuevos cultivos adaptados a las características locales.
- No existe total claridad del significado de las acciones de aguas traducidas a caudal.

### **Información para mejorar la calibración del modelo subterráneo**

A continuación, se presentan diagnósticos, y recomendaciones o acciones vigentes, referentes a otras medidas, en particular a la información que serviría para mejorar la calibración del modelo subterráneo.

#### ***Diagnóstico***

- Los estudios desarrollados en la zona en materia de modelos numéricos, así como los pozos construidos y los ensayos hidráulicos desarrollados (DGA, 1995; DOH, 2002; ESSAT, 1998b, 1998a) se centran en la parte baja del acuífero (Poconchile hacia abajo). Por lo tanto, no existe información de calidad desde Poconchile hacia arriba, relacionada a la geometría del acuífero y conductividades hidráulicas.
- La conductividad hidráulica ( $K_z$ ) del lecho del río es desconocida, al ser el río una de las entradas más grandes de recarga al sistema, su interacción con el acuífero es controlada en gran proporción por este parámetro.
- En la zona los regantes utilizan un gran número de canales para la distribución de las aguas que captan del río. Sin embargo, no se poseen datos de su interacción con el acuífero, en particular, si estos canales representan una recarga/drenaje para el acuífero.

### **Recomendaciones**

- Realizar el trabajo en terreno necesario, principalmente geofísica
- Realizar el trabajo en terreno necesario, ensayo de infiltración en lecho del río en distintos puntos a lo largo del valle
- Realizar el trabajo en terreno necesario, analizando en particular la posición del canal respecto al acuífero (potencial drenante/aportante), y como el estado del revestimiento del canal (catastrado en volumen I) favorece o no su infiltración/drenaje al acuífero (Kz del lecho)

### **Información para mejorar la calibración del modelo superficial**

A continuación, se presentan diagnósticos, y recomendaciones o acciones vigentes, referentes a otras medidas, en particular a la información que serviría para mejorar la calibración del modelo superficial.

En función de las distintas limitaciones encontradas durante el desarrollo de la modelación hidrológica superficial, es posible enumerar una serie de brechas, algunas de las cuales, si bien no pudieron ser implementadas en este proyecto, podrían ser solventadas en futuros estudios.

### ***Disponibilidad de información fluviométrica en la entrada del Valle del Lluta***

A pesar de que la estación Río Lluta en Tocontasi (RLT) se encuentra en un punto estratégico de la cuenca, donde se mide la totalidad del caudal de entrada antes de las zonas de demanda agrícola, esta no cuenta con una cantidad y calidad de datos que permitan considerar a la serie de caudales como parte de la modelación y calibración. Si bien esta estación lograba medir con cierta regularidad los caudales hasta antes del año 1985, cuenta con muy poca información para los años posteriores, que es donde se sitúa el periodo de estudio de esta consultoría.

La posibilidad de contar con estos datos en específico, hubiese significado un desarrollo mucho más sólido en cuanto a los caudales simulados la entrada al Valle, en un punto donde se controla prácticamente la totalidad del caudal de abastecimiento de la cuenca. Si bien los datos fluviométricos históricos son inviables de reconstruir, se recomienda hacer un monitoreo más responsable de los caudales en este punto a partir de ahora, lo cual implica que la estación de medición este implementada con estándares que garanticen su funcionamiento en condiciones extremas, pues de acuerdo a antecedentes y testimonios de operadores de la Unidad de Hidrología Regional, la estación RLT históricamente se ha visto interrumpida porque no resiste las crecidas más extremas del Invierno Altiplánico. Dado que en el corto plazo comenzará a funcionar el embalse Chironta, se espera que los equipamientos de estaciones contemplados en dicho proyecto ayuden a suplir esta brecha (una estación aguas arriba y otra aguas abajo, según EIA (DOH, 2012).

### ***Mejor calidad de la información de temperatura en la parte alta de la cuenca***

La parte alta de la Cuenca del Río Lluta no cuenta con suficiente información in situ tomada a partir de estaciones meteorológicas puntuales, ya sea espacialmente (pocas estaciones) así como también temporalmente (ventanas de tiempo muy acotadas).

La posibilidad de contar con mejor información de temperaturas permitiría acceder a productos grillados que tengan una representación más fiel de dicha variable en la cuenca, lo cual directamente implicaría mejoras en la modelación, siendo específicamente sensible para simulación de la acumulación/derretimiento de nieve.

### ***Información agrícola más discretizada en el Valle del Lluta***

Si bien se ha incorporado las áreas de riego a partir de los Censos Agropecuarios (CCAA) de 1997 y 2007, estos consisten básicamente en capturas puntuales tomadas en esos dos años, por lo que sucede en el resto del periodo modelado, se toma a partir de conjeturas de estos datos. Por lo demás, la sectorización de zonas de riego (16 zonas modeladas en el Valle del Lluta) se ha definido a partir de solo 2 distritos censales definidos en los CCAA. Si bien exigir detalles agrícolas de todos los sectores en una extensa cantidad de años puede ser mucho pedir, se hace marcada la necesidad en este caso, dada la falta de información en los últimos 10 años, donde debiese haber ocurrido un último censo agropecuario.

La posibilidad de contar con información temporalmente más detallada y espacialmente más discretizada permitiría tener una mejor descripción de las demandas en el Valle del Lluta, específicamente en las 16 zonas de riego, pudiendo incluso tener una estimación de las demandas reales a un nivel mucho más definido. El catastro de los cultivos desarrollados y las áreas regadas podría impulsarse a partir de recopilaciones a desarrollar por los mismos regantes de la zona, quienes pueden verse interesados directamente en la aplicación de la herramienta de gestión.

### ***Certeza en la estimación de la demanda hídrica antrópica en el sector Putre y Socoroma***

En el caso de las zonas agrícolas desarrolladas en el sector Putre y Socoroma, existe una brecha importante que ha sido difícil de abordar en este estudio. Si bien, al igual que en el caso del Valle del Lluta, se han incorporado las áreas de riego de estos sectores a partir de los Censos Agropecuarios (CCAA) de 1997 y 2007, no se puede establecer claramente las especificaciones de los cultivos desarrollados, considerando que en estas zonas además de abastecerse de riego, existen zonas agrícolas que se desarrollan en secano.

La posibilidad de contar con información agrícola más sólida en los sectores de Putre y Socoroma permitiría obtener mejores aproximaciones de las demandas reales que se derivan de su actividad agrícola, diferenciando con mayor claridad las áreas efectivamente regadas de aquellas áreas de secano. Al igual que en el caso del sector

del Valle del Lluta, el catastro de los cultivos existentes y las áreas regadas en estos sectores podría impulsarse a partir de recopilaciones a desarrollar por los mismos regantes de la zona, quienes pueden verse interesados directamente en la aplicación de la herramienta de gestión.

#### **6.2.4 Iniciativas interregionales**

Adicionalmente existe una serie de iniciativas de inversión de carácter "interregional", las cuales en algunos casos involucran acciones en la cuenca como parte de la Región (Tabla 6.8). En el caso de las iniciativas DGA la mayor parte son iniciativas de "Conservación" de la infraestructura existente donde una forma conservadora de estimar la inversión regional sería a través de una división por las 16 regiones del país.

**Tabla 6.8 Iniciativas interregionales en cartera de inversiones públicas MIDESO**

Código BIP	Descripción	Tipología	Subsector	Institución financiera	Costo total (M\$)
30089740-0	Conservación y mantención red hidrométrica nacional. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	2.470.743
30089747-0	Conservación de la red de transmisión de datos en tiempo real. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	193.452
30089748-0	Conservación de la red de obtención de datos a través de terceros. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	78.850
30130205-0	Conservación de la red sedimentométrica nacional. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	36.202
30130213-0	Conservación red de medición de parámetros glaciológicos. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	4.727.413
30130218-0	Conservación de la red hidrometeorológica. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	1.017.283
30130229-0	Conservación red de lagos nacional. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	264.527
30130257-0	Conservación de la red de aguas subterráneas. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	390.124
30130267-0	Conservación de la red de agua e hidrogeología nacional. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	602.794
30135814-0	Conservación inventario D° de agua Afecto pago de patente por no uso. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	994.220
30294322-0	Conservación de la red de protección de recursos hídricos nacional. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	399.588
30297833-0	Conservación de riberas de cauces naturales. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Defensas fluviales, marítimas y cauces naturales	DOH	10.659.814
30409172-0	Análisis para el desarrollo de un plan nacional de recursos hídricos. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Estudio básico	Recursos hídricos	DGA	1.480.807
30469884-0	Diagnóstico para el desarrollo de un plan de quebradas. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Estudio básico	Defensas fluviales, marítimas y cauces naturales	DOH	1.772.856
30484687-0	Transferencia para mejorar la gestión de las OUA beneficiadas del plan de pequeños embalses. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Programa	Riego	CNR	416.873
30484775-0	Conservación inventario público de extracciones efectivas aguas subterráneas y superficiales. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	293.785
40010793-0	Conservación estructura riego y drenaje Ley 18.450 (2019 - 2021). Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Riego	DOH	402.013

Código BIP	Descripción	Tipología	Subsector	Institución financiera	Costo total (M\$)
40012044-0	Análisis implementación planes estratégicos de cuenca para la GRH nacional. Año y etapa a financiar: 2021 – ejecución	Estudio básico	Recursos hídricos	DGA	2.176.973
40012994-0	Diagnóstico para la implementación red nacional de alerta. Año y etapa a financiar: 2021 – ejecución	Estudio básico	Recursos hídricos	DGA	108.634
40020601-0	Conservación estaciones fluviométricas y reparaciones mayores. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	742.296
40020961-0	Análisis de inversión en infraestructura y gestión hídrica. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Estudio básico	Recursos hídricos	DOH	405.291
40024843-0	Capacitación para profesionales de la zona norte en gestión del recurso hídrico. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Programa	Riego	CNR	245.000
40025960-0	Conservación de riberas interregional 2020 – 2023 recup. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Defensas fluviales, marítimas y cauces naturales	DOH	6.973.332
40026219-0	Conservación de recolección y tratamiento de aguase servidas 2021 – 2022. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Evacuación disposición final aguas servidas	APR	5.500.000
40026226-0	Conservación fondos concursables para sistema de APR nivel nacional. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	APR	20.449.998
40026229-0	Conservación - instalación de telemetría en sistema APR nivel nacional 2021 – 2022. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	APR	20.449.998
40026319-0	Conservación infraestructura de riego interregional – 2020 2023. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Riego	DOH	20.185.478
40027052-0	Conservación y mantención red hidrométrica nacional plan de recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	536.813
40027054-0	Conservación red de medición de parámetros glaciológicos plan de recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	692.271
40027055-0	Conservación de la red hidrometeorológica plan de recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	378.938
40027056-0	Conservación red de lagos plan de recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	384.573
40027057-0	Conservación de la red de aguas subterráneas plan de recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	359.215
40027058-0	Conservación de la red de agua e hidrogeología plan recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	439.233
40027062-0	Conservación inventario D° de agua afecto pago de patente por no uso plan recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	316.974

<b>Código BIP</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipología</b>	<b>Subsector</b>	<b>Institución financiera</b>	<b>Costo total (M\$)</b>
40027964-0	Análisis para la formulación nacional planes estratégicos gestión hídrica. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Estudio básico	Recursos hídricos	DGA	6.375.463
40028923-0	Conservación estaciones fluviométricas y reparaciones mayores plan de recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	2.227.914
40029577-0	Transferencia tecnológica en programación y control de riego tecnificado. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Programa	Riego	CNR	220.000
40030052-0	Diagnóstico reúso aguas servidas tratadas riego rural. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Estudio básico	Riego	CNR	250.000
40030367-0	Conservación global sistemas agua potable rural. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	APR	9.000.000
40031463-0	Conservación e instalación de telemetría en los sistemas APR año 2021 - 2022. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	APR	6.500.000
40031470-0	Conservación sistemas APR, nivel nacional. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	APR	7.357.113
40031625-0	Análisis de proyectos de riego con cambio climático. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Estudio básico	Riego	CNR	110.000

Fuente: página web de Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social y Familia.

### 6.3 Acciones presentadas en PAC

El análisis de acciones para la cuenca se basó en iniciativas estratégicas planteadas por estudios previos en concordancia con las problemáticas y brechas existentes en ésta. Se identificaron 24 acciones las cuales se presentan en la Tabla 6.9.

**Tabla 6.9 Identificación de acciones para presentar en actividades PAC**

Id	Tipo	Id2	Id Acc	Acciones
1	Obras de Infraestructura	1.1	1	Tratamiento de las aguas del Río Lluta mediante una Planta desaladora
		1.2	2	Obras de control o manejo de la calidad de las aguas del río Azufre en la cuenca alta del Lluta
		1.3	3	Reemplazo de planta de tratamiento de aguas del río Lluta
		1.4	4	Obras de desvío Río Azufre
		1.5	5	Tratamiento de las aguas del Río Azufre
		1.6	6	Tratamiento de las aguas del Río Colpitas
		1.7	7	Tratamiento predial de las aguas del río Colpitas
		1.8	8	Obras desvío río Colpitas
		1.9	9	Mejoramiento en la infraestructura hidráulica existente
		1.10	10	Tratamiento predial de las aguas del río Lluta para abatir B y As
		1.11	11	Toma y conducción de las aguas del río Caracarani
		1.12	12	Tratamiento de aguas servidas de Arica y uso en riego
2	Medidas de gestión hídrica	2.1	13	Plan de fiscalización de extracciones
		2.2	14	Mejoramiento operación pozos agua potable en Lluta
		2.3	15	Transferencia tecnológica para riego en la subcuenca Lluta Bajo
		2.4	16	Diseño y apoyo comunicacional, y capacitación en herramientas de gestión territorial
		2.5	17	Transferencia tecnológica para riego en zona Putre Socoroma
3	Nuevas fuentes de agua	3.1	18	Planta desaladora
		3.2	19	Recarga artificial de acuíferos mediante balsas de infiltración y con agua de crecidas
		3.3	20	Recarga artificial de acuíferos mediante balsas de infiltración y con agua servida tratada de Arica
		3.4	21	Recarga artificial de acuíferos mediante batería de Pozos con agua servida tratada de Arica
		3.5	22	Trasvase de agua de cuenca de río Caquena a la cuenca del río Lluta
4	Otras medidas	4.1	23	Apoyo en la generación y planificación de nuevos mercados, de generación y seguimiento de proyectos, e identificación de impacto en el territorio
		4.2	24	Facilitar y apoyar la incorporación planificada de nuevas superficies de uso agrícola, conforme al aumento de la disponibilidad hídrica

Fuente: elaboración propia

### **6.3.1 Relación acciones y objetivos del plan**

Como ya fue mencionado, las acciones levantadas para la discusión en el proceso de PAC, fueron seleccionadas a partir del análisis de antecedentes.

La relación entre las acciones ya identificadas en la Tabla 6.9 y los objetivos del plan, se presentan en el Tabla 6.10.

**Tabla 6.10 Relación entre acciones identificadas, ejes y objetivos del PEGH**

Eje	Nombre de eje	N°	Objetivos para definición de Acciones del Plan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
1	Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos	1.1	Reducir las brechas entre oferta y demanda de agua considerando cambio climático, sequía e inundaciones.	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x						x	x	x	x	x					
		1.2	Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable urbana, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.	x		x													x											
		1.3	Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.																											
		1.4	Conservar y/o mejorar el estado de la infraestructura hidráulica actual.		x									x																
		1.5	Gestión de riesgos											x									x	x						
2	Información y monitoreo del recurso hídrico	2.1	Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares).														x		x											
		2.2	Gestión de información															x		x	x	x								
3	Gestión y gobernanza del agua	3.1	Promover y revitalizar la alianza público - privada en materia hídrica.														x		x	x	x						x			
4	Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico	4.1	Conservar y/o mejorar el estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas.				x	x	x		x			x	x								x	x	x					
		4.2	Proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.																											

Fuente: elaboración propia

## 6.4 Relación entre brechas, acciones, ejes y objetivos del plan

En el acápite 2.6.3 fueron presentadas las brechas de coordinación desde la PAC. Estas brechas se relacionan con los ejes del plan "Información y monitoreo del recurso hídrico" y "Gestión y gobernanza del agua". En el caso de las brechas de coordinación desde la PAC, principalmente centradas en la necesidad de instancias de coordinación territorial.

Por otro lado, en la sección 2.6.2 se evalúan las brechas desde la experiencia internacional, centradas en los Principios de gobernanza de la OCDE los cuales cruzan aspectos de información y gobernanza del agua.

Sin embargo, las acciones identificadas discutidas en PAC y que se incluyen en Tabla 6.9 abordaron de un modo más general los aspectos de información, y en forma parcial la gobernanza.

Estas brechas relacionadas con gestión de información hídrica, resultan de un valor clave para complementar las acciones levantadas, y en cuanto a la "gobernanza", ésta resulta clave para una futura implementación y seguimiento del plan.

Por otro lado, en el acápite 2.6.4 fueron presentadas las "brechas de información levantadas desde el proceso de PAC". En este caso, las brechas identificadas se relacionan directamente con los ejes "Información y monitoreo del recurso hídrico" y "Gestión y gobernanza del agua", al plantear brechas sobre información de derechos de agua, información de fiscalización, información sobre usuarios de agua, necesidad de fortalecimiento de capacidades de usuarios de agua en la cuenca, y necesidades de difusión de información, entre otras.

En este caso, las acciones de la Tabla 6.9 abordaron de un modo más general los aspectos de información y de gobernanza.

Por último, las brechas identificadas desde la modelación se presentan en el acápite 5.6 las cuales dan cuenta de brechas de información tales como: insuficiente información base para la modelación, insuficiente distribución de estaciones en la cuenca, insuficiente data de caudales y de mediciones en pozos, insuficiente informaciones de extracciones de agua, incerteza en las demandas de agua en la cuenca, limitaciones en cuanto al modelo desarrollado entre otras. Este conjunto de brechas relacionadas con "Información y monitoreo del recurso hídrico" y "Gestión y gobernanza del agua" también se abordan parcialmente.

Lo que se aprecia desde la PAC es que los temas de gestión de información no responden a una necesidad inmediata de los actores, sino, que los temas prioritarios son soluciones concretas a sus problemas hídricos. Cabe señalar que la desconfianza que muchos actores presentan ante la acción de DGA, y de los organismos que trabajan en la zona, en parte se debe a la falta de información adecuada tanto en lenguaje como en un

formato accesible para todos, lo cual va desde información clara sobre derechos de agua (titulares y cantidad) así como a la situación de los recursos hídricos en la cuenca. Si se pretende que los actores comunitarios de la zona participen adecuada y activamente en la implementación del PEGH se requiere confrontar estas brechas de información ante todos los tipos de actores comunitarios y mejorar la difusión de información en forma coordinada entre los servicios del Estado y todos los demás actores de la cuenca.

## 6.5 Acciones adicionales

Adicionalmente, fueron recogidos 2 sets adicionales de acciones/recomendaciones.

La primera relacionada con las recomendaciones para futuras actualizaciones de la modelación en el marco del PEGH, y la segunda, un set de requerimientos de parte de DIFROL.

### 6.5.1 Recomendaciones a partir de los resultados de la modelación

El desarrollo de la modelación de la cuenca ha planteado una serie de brechas (acápites 5.6) y recomendaciones técnicas en esta materia (Anexo H, sección 10.3); éstas últimas se muestran en la Tabla 6.11.

**Tabla 6.11 Recomendaciones para futuras actualizaciones de la modelación**

Tipo de datos	Recomendación
Datos de uso de suelo agrícola	En un futuro se espera contar con información de cobertura de suelo con una dimensión temporal, para tener especialmente los cambios anuales en las superficies cultivadas. La posibilidad de contar con información temporalmente más detallada y espacialmente más discretizada permitiría tener una mejor descripción de las demandas en el Valle del Lluta, específicamente en las zonas de riego modeladas, pudiendo incluso tener una estimación de las demandas reales a un nivel mucho más definido. El catastro de los cultivos desarrollados y las áreas regadas podrían impulsarse a partir de recopilaciones a desarrollar por los mismos regantes de la zona, quienes pueden verse interesados directamente en la aplicación de la herramienta de gestión.
Datos fluviométricos en la estación Río Lluta en Tocontasi (RLT) y en un punto antes del embalse	Más allá de la necesidad de datos fluviométricos históricos en la estación RLT, los cuales difícilmente podrán ser reconstruidos, es necesario que a futuro se tenga un buen control del funcionamiento de la estación. Adicionalmente es muy necesario contar con datos fluviométricos medidos en un punto antes de la entrada del Río Lluta al embalse Chironta.
Monitoreo de niveles subterráneos	En base a las brechas identificadas se recomienda incorporar monitoreo continuo en pozos de distintas áreas del dominio para lograr una mejor cobertura espacial de esta variable. Las áreas de interés incluyen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sector cerca del límite aguas arriba del dominio MODFLOW (oriental)</li> <li>- Sector desembocadura/humedal</li> <li>- Sector en el borde con sistema vecino Concordia</li> <li>- Aguas arriba del sector de extracciones Sanitarias</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

### 6.5.2 Recomendaciones propuestas por DIFROL

La Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado (DIFROL) es un organismo asesor del Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile, cuya misión principal es preservar y fortalecer la integridad territorial del País, brindando asesoría profesional y técnica, en el ámbito jurídico y en el relativo a las ciencias de la Tierra, al Supremo Gobierno en materias de fronteras y límites. La DIFROL también asesora al Supremo Gobierno en la negociación de acuerdos, así como en la participación en foros internacionales y reuniones sobre materias relacionadas con los límites internacionales de Chile y las políticas de integración física, vecinal y regional, a través del Ministerio de Relaciones Exteriores<sup>22</sup>. En la Tabla 6.12 se presentan las iniciativas propuestas por DIFROL para el PEGH Lluta y en el SIG se incorpora el contexto de la situación limítrofe.

**Tabla 6.12 Propuestas de iniciativas desde DIFROL para el PEGH Lluta.**

Nº	Nombre de la medida/recomendación	Descripción (descripción de la medida/acción)	Tipo	Priorización (alta/media/baja)
1	Monitorear el caudal del río Azufre con 4 estaciones fluviométricas	Se recomienda medir de manera continua el caudal del río Azufre en distintos puntos desde su nacimiento hasta la confluencia con el río Caracarani a fin de contar con información sobre las acciones de minera Pucamarca y efectos de la obra Pretiles. Específicamente, se recomienda instalar 4 estaciones fluviométricas de medición continua, en territorio chileno: antes y después de su paso por Perú, y antes y después del desvío de obras Pretiles. Esta información permitirá tener mayor certeza del manejo que cada país realiza sobre este río transfronterizo. Mientras se gestiona la instalación de estaciones fluviométricas (obtención de presupuesto, elaboración de TDR, adjudicación de contrato, construcción, etc.) se recomienda solicitar a DGA regional incorporar en su programa de monitoreo mensual, la medición del caudal del río Azufre antes y después del paso del río por Perú en distintas épocas del año.	Institucional	Media
2	Monitorear la calidad de agua del río Azufre en 4 puntos durante su trayecto	Producto de las extracciones realizadas por UM Pucamarca y del desvío del río Azufre hacia la obra Pretiles, se podría estar produciendo un detrimento en la calidad química del agua al disminuir el volumen de dilución y afectarse la calidad de agua que llega al río Lluta. Ante estas situaciones, se recomienda monitorear la calidad química del río Azufre aguas arriba y aguas abajo de la extracción de Minsur; así como también aguas arriba y aguas abajo del desvío a los pretiles. Estos monitoreos debieran realizarse en distintos periodos del año, de acuerdo a las definiciones de DGA.	Técnica	Alta
3	Analizar conexión hidrogeológica entre Chile y Perú.	En el Estudio de Impacto Ambiental de UM Pucamarca, Minsur explica que los pozos de bombeo que utiliza en su proyecto se encuentran en dos acuíferos (somero y profundo) desconectados hidráulicamente del territorio chileno. Sin embargo, Chile no cuenta con información que permita validar esta afirmación.	Técnica	Alta

<sup>22</sup> Página web de DIFROL [www.difrol.gob.cl](http://www.difrol.gob.cl) visto por última vez el 27/05/2021

N°	Nombre de la medida/recomendación	Descripción (descripción de la medida/acción)	Tipo	Priorización (alta/media/baja)
		Frente a esto se recomienda solicitar a SERNAGEOMIN la realización de un estudio en territorio chileno en el límite con Perú y zona cercana al río Azufre, que permita identificar las unidades hidrogeológicas de la zona de estudio, analizar si existe conexión hidrogeológica entre ambos países, y comprender las interacciones río-acuífero. Esta información permitirá visualizar o descartar la existencia de acuíferos transfronterizos que pudieran estar siendo afectados por Pucamarca.		
4	Identificar el efecto de las azufreras en la calidad de las aguas del río Azufre.	Se recomienda analizar si el río Azufre entra en contacto con los desechos mineros de las Adufreras emplazadas en el volcán Tacora. De generarse una interacción, se recomienda realizar campañas de monitoreo químico del río Azufre, en diferentes periodos del año (época seca y lluviosa), a fin de identificar la magnitud de los efectos en el río producto de la interacción con las Adufreras. Si el efecto fuera relevante, se recomienda evaluar la factibilidad de remediar el sector de los relaves, con el fin de evitar el contacto entre estos y el río Azufre, y así disminuir los efectos generados en el río Azufre y por ende Lluta	Técnica	Alta
5	Establecer un mecanismo entre DIFROL y DGA para resolver las solicitudes de información	El PEGH-Lluta sí debiese reflejar una recomendación (a modo más general) en lo fundamental que resulta la coordinación institucional, pues uno de los puntos clave de los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) es precisamente abordar la gobernanza de la cuenca, lo cual implica identificar, caracterizar y determinar la estructura de la red de actores relevantes y sus interacciones. Al menos entre los actores públicos claves identificados en materia de recursos hídricos compartidos destacaría DGA, DOH, DIFROL, MMA, SERNAGEOMIN, pues cada una de estos organismos posee atribuciones y funciones claves para avanzar en la información y conocimiento del recurso (tanto es disponibilidad como en calidad), infraestructura, la resolución de problemas, y la preservación / conservación de ecosistemas.	Institucional	Media
6	Revisar las características de la obra los pretiles con el MOP (DOH)	Los pretiles cumplen un rol fundamental en "mejorar" el agua de la cuenca. Como recomendación el Plan debe indicar que: "es necesario barajar alternativas y realizar un análisis crítico y revisión respecto al funcionamiento de estas obras si puede optimizarse o reemplazar mediante tecnología más actualizada (por ej.: una planta de tratamiento)". Por otro lado, no hay estudios que demuestren por ejemplo la infiltración de estas obras al acuífero.	Técnica	Media

## 7. CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS

El objetivo de este capítulo es generar la cartera de iniciativas que conforma el PEGH.

Para esto, en primer lugar, se establece una priorización de las acciones abordadas en las actividades de PAC, luego se identifican las iniciativas que permiten abordar dichas acciones, y finalmente se propone un cronograma para abordarlas.

### 7.1 Priorización de acciones

En primer lugar, en la ronda del Taller 2 se presentó un conjunto de 24 acciones provenientes del análisis bibliográfico y de las reuniones previas con actores de la cuenca.

Cabe señalar que en la actividad de PAC, mediante la herramienta Menti se recogió una priorización de los actores para las acciones consideradas. Sin embargo, sólo se obtuvo votación de un conjunto de 4 privados de la cuenca, por lo que se privilegió un enfoque de análisis multicriterio (Sección 3.6 de Anexo F) para la priorización de iniciativas. A partir de dicha evaluación se elaboró un listado priorizado de acciones. Cabe señalar que las acciones consideradas se refieren a ideas o soluciones más amplias que una iniciativa concreta, y lo que se busca finalmente es identificar las iniciativas concretas que permitan abordar dichas acciones.

La Tabla 7.1 presenta los resultados de la evaluación. Luego, considerando un puntaje de corte 4,1, se generó un listado con 10 acciones priorizadas, el cual se presenta en Tabla 7.2.

**Tabla 7.1 Resultados de evaluación de acciones y priorización.**

Id	Tipo	Id2	Id Acc	Acciones propuestas	Ev. Final Corte=4,1 10/24
1	Obras de Infraestructura	1.1	1	Tratamiento de las aguas del Río Lluta mediante una Planta desaladora.	3,7
		1.2	2	Obras de control o manejo de la calidad de las aguas del río Azufre en la cuenca alta del Lluta.	4,2
		1.3	3	Reemplazo de planta de tratamiento de aguas del río Lluta.	3,4
		1.4	4	Obras de desvío Río Azufre.	4,1
		1.5	5	Tratamiento de las aguas del Río Azufre.	3,9
		1.6	6	Tratamiento de las aguas del Río Colpitas.	3,9
		1.7	7	Tratamiento predial de las aguas del río Colpitas.	4,2
		1.8	8	Obras desvío río Colpitas.	3,9
		1.9	9	Mejoramiento en la infraestructura hidráulica existente.	4,1
		1.10	10	Tratamiento predial de las aguas del río Lluta para abatir B y As.	3,6
		1.11	11	Toma y conducción de las aguas del río Caracarani.	4,2
		1.12	12	Tratamiento de aguas servidas de Arica y uso en riego.	3,7
2	Medidas de gestión hídrica	2.1	13	Plan de fiscalización de extracciones.	3,9
		2.2	14	Mejoramiento operación pozos agua potable en Lluta.	3,6
		2.3	15	Transferencia tecnológica para riego en la subcuenca Lluta Bajo.	4,1

		2.4	16	Diseño y apoyo comunicacional, y capacitación en herramientas de gestión territorial.	4,2
		2.5	17	Transferencia tecnológica para riego en zona Putre Socoroma.	4,1
3	Nuevas fuentes de agua	3.1	18	Planta desaladora.	3,5
		3.2	19	Recarga artificial de acuíferos mediante balsas de infiltración y con agua de crecidas.	3,6
		3.3	20	Recarga artificial de acuíferos mediante balsas de infiltración y con agua servida tratada de Arica.	3,7
		3.4	21	Recarga artificial de acuíferos mediante batería de Pozos con agua servida tratada de Arica.	3,6
		3.5	22	Trasvase de agua de cuenca de río Caquena a la cuenca del río Lluta.	4,3
4	Otras medidas	4.1	23	Apoyo en la generación y planificación de nuevos mercados, de generación y seguimiento de proyectos, e identificación de impacto en el territorio.	4,2
		4.2	24	Facilitar y apoyar la incorporación planificada de nuevas superficies de uso agrícola, conforme al aumento de la disponibilidad hídrica.	3,9

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 7.2 Acciones priorizadas en la cuenca de Lluta según criterio de corte.**

Id	Tipo	Id2	Id Acc	Acciones priorizadas
1	Obras de Infraestructura	1.2	2	Obras de control o manejo de la calidad de las aguas del río Azufre en la cuenca alta del Lluta.
		1.4	4	Obras de desvío Río Azufre.
		1.7	7	Tratamiento predial de las aguas del río Colpitas.
		1.9	9	Mejoramiento en la infraestructura hidráulica existente.
		1.11	11	Toma y conducción de las aguas del río Caracarani.
2	Medidas de gestión hídrica	2.3	15	Transferencia tecnológica para riego en la subcuenca Lluta Bajo.
		2.4	16	Diseño y apoyo comunicacional, y capacitación en herramientas de gestión territorial.
		2.5	17	Transferencia tecnológica para riego en zona Putre Socoroma.
3	Nuevas fuentes de agua	3.5	22	Trasvase de agua de cuenca de río Caquena a la cuenca del río Lluta.
4	Otras medidas	4.1	23	Apoyo en la generación y planificación de nuevos mercados, de generación y seguimiento de proyectos, e identificación de impacto en el territorio.

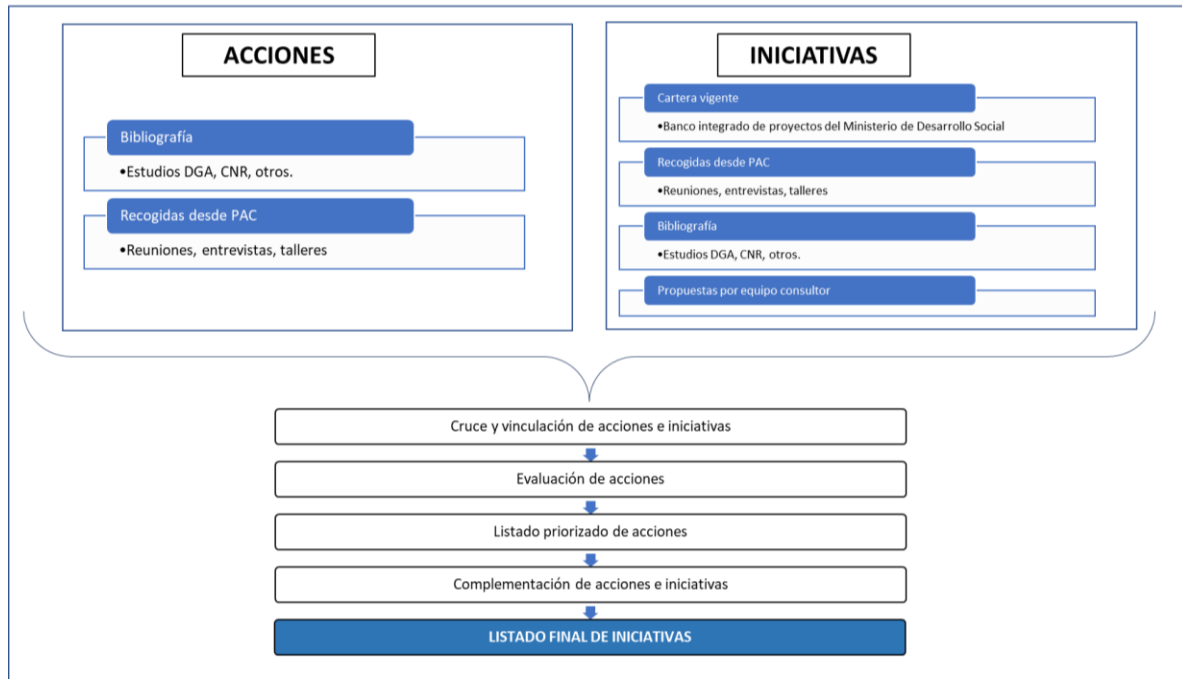
Fuente: elaboración propia.

Este listado priorizado de acciones de la Tabla 7.2 debió ser transformado a iniciativas concretas. Para esto, en forma paralela se levantó el conjunto de iniciativas de inversión incluyendo las de la cartera vigente, las recogidas en proceso PAC, las recogidas en la revisión bibliográfica, y nuevas iniciativas propuestas por el equipo consultor. En caso de no existir acción o iniciativa según sea el caso, fueron agregadas a partir de la información manejada por el equipo consultor.

Así, a partir de lo anterior y tomando en consideración lo indicado en la sección 6.4, el listado de iniciativas a proponer desde el listado de acciones priorizadas debe abordar tanto los objetivos del plan, así como las brechas identificadas, pero también tomando en consideración complementar con iniciativas del ámbito "Información y monitoreo del

recurso hídrico” y “Gestión y gobernanza del agua”, que, si bien no fueron priorizadas en los primeros lugares por la votación de la PAC, son claves para el PEGH.

Finalmente, el esquema de la Figura 7.1 resume los pasos desarrollados para el listado final de iniciativas.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 7.1 Esquema general para elaboración de Plan de acción.**

La Tabla 7.3 presenta la relación entre el listado de acciones (24) y las iniciativas levantadas desde estudios previos (35). Cabe señalar que fue necesario agregar 3 nuevas acciones a la clasificación. Estas nuevas acciones daban cuenta del proceso de entrevistas, reuniones, talleres y del análisis técnico desarrollado durante el trabajo, incluyendo los aspectos de modelación.

**Tabla 7.3 Resultados del cruce del Acciones (24) con Iniciativas previas (35).**

Id	Tipo	Id Acción	Acciones propuestas	Id inic planes	Iniciativas previas	Acc. Prior.		
1	Obras de infraestructura	1	Tratamiento de las aguas del río Lluta mediante una planta desaladora	8	Tratamiento de las aguas del río Lluta mediante una planta desaladora			
		2	Obras de control o manejo de la calidad de las aguas del río Azufre en la cuenca alta del Lluta	1	Obras de control o manejo de la calidad de las aguas del río Azufre en la cuenca alta del Lluta	X		
		3	Reemplazo de planta de tratamiento de aguas de río Lluta	2	Reemplazo de planta de tratamiento de aguas de río Lluta			
		4	Obras de desvío río Azufre	3	Obras de desvío río Azufre	X		
		5	Tratamiento de las aguas del río Azufre	4	Tratamiento de las aguas del río Azufre	4	Tratamiento de las aguas del río Azufre	
				19		Construcción obras de mejoramiento de calidad agua río Azufre		
		6	Tratamiento de las aguas río Colpitas		5	Tratamiento de las aguas río Colpitas		
					17	Mejoramiento calidad del agua río Colpitas comuna General Lagos		
		7	Tratamiento predial de las aguas del río Colpitas	6	Tratamiento predial de las aguas del río Colpitas	X		
		8	Obras desvío río Colpitas	7	Obras desvío río Colpitas			
		9	Mejoramiento en la infraestructura hidráulica existente		9	Mejoramiento en la infraestructura hidráulica existente	X	
					18	Conservación de riberas de cauces naturales XV región	X	
					21	Conservación canal Lluscuma, comuna de Putre	X	
		10	Tratamiento predial de las aguas del río Lluta para abatir B y As	11	Tratamiento predial de las aguas del río Lluta para abatir B y As			
		11	Toma y conducción de las aguas del río Caracarani	12	Toma y conducción de las aguas del río Caracarani			
		12	Tratamiento de aguas servidas de Arica y uso en riego	10	Tratamiento de aguas servidas de Arica y uso en riego			
Nueva 1	Mejoramientos en Sistemas APR y su cobertura, PTAS		13	Construcción sistema APR sector asociación agrícola Concordia				
			14	Construcción mejoramiento captación Villa Frontera y La Ponderosa Arica				
			15	Mejoramiento integral sistema APR valle de Lluta Arica y Parinacota				
			16	Mejoramiento integral sistema agua potable rural de Socoroma Putre				
			20	Construcción estanques de regulación hídrica provincia de Parinacota				
			22	Planta de Tratamiento Aguas Servidas - Ciudad de Arica				

<b>Id</b>	<b>Tipo</b>	<b>Id Acción</b>	<b>Acciones propuestas</b>	<b>Id inic planes</b>	<b>Iniciativas previas</b>	<b>Acc. Prior.</b>
2	Medidas de gestión hídrica	13	Plan de fiscalización de extracciones	23	Plan de fiscalización de extracciones	
		14	Mejoramiento operación pozos agua potable en Lluta	24	Mejoramiento operación pozos agua potable en Lluta.	
		15	Transferencia tecnológica para riego en la subcuenca Lluta Bajo	29	Transferencia tecnológica para riego en la subcuenca Lluta Bajo	X
		16	Diseño y apoyo comunicacional, y capacitación en herramientas de gestión territorial	33	Diseño y apoyo comunicacional, y capacitación en herramientas de gestión territorial	X
		17	Transferencia tecnológica para riego en zona Putre Socoroma	28	Transferencia tecnológica para riego en zona Putre Socoroma	X
		Nueva 2	Avanzar en una Gobernanza para la cuenca	36	Recogida en PAC*	X
3	Nuevas fuentes de agua	18	Planta desaladora	30	Planta Desaladora Arica 200 l/s.	
		19	Recarga artificial de acuíferos mediante balsas de infiltración y con agua de crecidas	25	Recarga artificial de acuíferos mediante balsas de infiltración y con agua de crecidas	
		20	Recarga artificial de acuíferos mediante balsas de infiltración y con agua servida tratada de Arica	26	Recarga artificial de acuíferos mediante balsas de infiltración y con agua servida tratada de Arica	
		21	Recarga artificial de acuíferos mediante batería de Pozos con agua servida tratada de Arica	27	Recarga artificial de acuíferos mediante batería de Pozos con agua servida tratada de Arica	
		22	Trasvase de agua de cuenca de río Caquena a la cuenca del río Lluta	31	Trasvase de agua de cuenca de río Caquena a la cuenca del río Lluta	X
4	Otras medidas	23	Apoyo en la generación y planificación de nuevos mercados, de generación y seguimiento de proyectos, e identificación de impacto en el territorio	34	Apoyo en la generación y planificación de nuevos mercados, de generación y seguimiento de proyectos, e identificación de impacto en el territorio	X
		24	Facilitar y apoyar la incorporación planificada de nuevas superficies de uso agrícola, conforme al aumento de la disponibilidad hídrica	35	Facilitar y apoyar la incorporación planificada de nuevas superficies de uso agrícola, conforme al aumento de la disponibilidad hídrica	
		Nueva 3	Estudios para mejorar conocimiento hídrico	32	Análisis delimitación de cauces en los valles bajos de Arica, Arica y Parinacota	
<b>Total acciones</b>				<b>27</b>		
<b>Nuevas acciones</b>				<b>3</b>		
<b>Total Iniciativas</b>				<b>36</b>		

Fuente: elaboración propia.

\*: La gobernanza del agua fue un tema que surgió en las reuniones de PAC y dada su relevancia y lo comentado en sección 6.4 finalmente se agregó al listado priorizado.

## 7.2 Síntesis de las iniciativas priorizadas

A partir del punto anterior, en la Tabla 7.4 se presenta el listado de las acciones e iniciativas priorizadas. Dicho listado incluye tanto iniciativas previas, iniciativas de la cartera vigente, así como las de valor estratégico recogidas en PAC y en coordinación con la I. Fiscal.

Por su parte, en la Tabla 7.5 se presenta el mismo listado de iniciativas junto con su presupuesto, costo, responsable financiero propuesto y horizonte de tiempo.

**Tabla 7.4 Iniciativas Plan cuenca del Lluta.**

Id	Tipo	Acción	Nº	Iniciativas del Plan de acción
1	Obras de infraestructura	Obras de control o manejo de la calidad de las aguas del río Azufre en la cuenca alta del Lluta	1	Obras de control o manejo de la calidad de las aguas del río Azufre en la cuenca alta del Lluta
		Obras de desvío río Azufre	2	Obras de desvío río Azufre
		Tratamiento predial de las aguas del río Colpitas	3	Tratamiento predial de las aguas del río Colpitas
		Mejoramiento en la infraestructura hidráulica existente	4	Mejoramiento en la infraestructura hidráulica existente
			5	Conservación de riberas de cauces naturales XV región
			6	Conservación canal Llussuma, comuna de Putre
		Toma y conducción de las aguas del río Caracarani	7	Toma y conducción de las aguas del río Caracarani
		Ampliación y mejoramiento de redes hidrométricas	8	Instalación de estaciones fluviométricas en sector río Azufre
			9	Monitoreo de calidad de agua río Azufre
2	Medidas de gestión hídrica	Transferencia tecnológica para riego en la subcuenca Lluta bajo	10	Transferencia tecnológica para riego en la subcuenca Lluta bajo
		Diseño y apoyo comunicacional, y capacitación en herramientas de gestión territorial	11	Diseño y apoyo comunicacional y capacitación en herramientas de gestión territorial
		Transferencia tecnológica para riego en zona Putre Socoroma	12	Transferencia tecnológica para riego en zona Putre Socoroma
		Avanzar en una Gobernanza para la cuenca	13	Diseño de una nueva gobernanza y acompañamiento técnico a todos los actores para su implementación en la cuenca
3	Nuevas fuentes de agua	Trasvase de agua de cuenca de río Caquena a la cuenca del río Lluta	14	Trasvase de agua de cuenca de río Caquena a la cuenca del río Lluta
4	Otras medidas	Apoyo en la generación y planificación de nuevos mercados, de generación y seguimiento de proyectos, e identificación de impacto en el territorio	15	Apoyo en la generación y planificación de nuevos mercados, de generación y seguimiento de proyectos, e identificación de impacto en el territorio
		Estudios para mejorar el conocimiento hídrico	16	Modelación conceptual y numérica hidrogeoquímica de la cuenca del río Lluta
			17	Modelamiento hidráulico embalse Chironta
			18	Estudio acerca de la conexión hidrogeológica entre Chile-Perú
			19	Estudio análisis del efecto de las azufreras en la calidad de las aguas del río Azufre

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 7.5 Iniciativas del Plan con costos y plazos.**

N°	Iniciativas del Plan de acción	Origen de iniciativa	Costo total (miles \$)	Plazo (meses)	Responsable financiero	Plazo
1	Obras de control o manejo de la calidad de las aguas del río Azufre en la cuenca alta del Lluta	Planes previos (DGA, 2010).	18.694.000	48*	DOH/ Gore Arica	Largo
2	Obras de desvío río Azufre	Planes previos (DGA-ICASS, 2017d).	7.604.728	36	DOH/ Gore Arica	Mediano
3	Tratamiento predial de las aguas del río Colpitas	Planes previos (DGA-ICASS, 2017d).	215.064	48	DOH/ Gore Arica	Largo
4	Mejoramiento en la infraestructura hidráulica existente	Planes previos (DGA-ICASS, 2017d).	410.466	60	CNR	Largo
5	Conservación de riberas de cauces naturales XV región	Cartera potencial de iniciativas (MOP, 2021).	2.304.340	60*	DOH/ Gore Arica	Largo
6	Conservación canal Lluscuma, comuna de Putre	Cartera potencial de iniciativas (MOP, 2021).	60.000	12	CNR	Largo
7	Toma y conducción de las aguas del río Caracarani	PEGH Lluta.	5.000.000	36	DOH	Mediano
8	Instalación de estaciones fluviométricas en sector río Azufre	DIFROL.	120.000	12	DGA	Corto
9	Monitoreo de calidad de agua en río Azufre	DIFROL.	25.000	12	DGA	Mediano
10	Transferencia tecnológica para riego en la subcuenca Lluta Bajo	Planes previos (CNR, 2016).	80.000	24*	CNR	Corto
11	Diseño y apoyo comunicacional, y capacitación en herramientas de gestión territorial	Planes previos (CNR, 2016).	60.000	6	CNR	Corto
12	Transferencia tecnológica para riego en zona Putre Socoroma	Planes previos (CNR, 2016).	80.000	24*	CNR	Corto
13	Diseño de una nueva gobernanza y acompañamiento técnico a todos los actores para su implementación en la cuenca	Trabajo de PAC, PEGH Lluta.	350.000	60	Gore Arica	Mediano
14	Trasvase de agua de cuenca de río Caquena a la cuenca del río Lluta	Planes previos (DGA-ICASS, 2017d).	94.801	12	DOH	Mediano
15	Apoyo en la generación y planificación de nuevos mercados, de generación y seguimiento de proyectos, e identificación de impacto en el territorio	Planes previos (CNR, 2016).	100.000	12	CORFO	Mediano
16	Modelación conceptual y numérica hidrogeoquímica de la cuenca del Lluta	Trabajo de PAC, PEGH Lluta.	250.000	18	CORFO	Mediano
17	Modelamiento hidráulico embalse Chironta	Trabajo de PAC, PEGH Lluta.	150.000	12	DOH	Corto
18	Estudio de conexión hidrogeológica entre Chile Perú	DIFROL	80.000	8	DIFROL	Corto
19	Estudio de análisis del efecto de las azufreras en la calidad de las aguas del río Azufre.	DIFROL	40.000	6	DIFROL	Corto

Fuente: elaboración propia. (\* iniciativas con avance actual de ejecución).

Por último, la Tabla 7.7 presenta una propuesta del cronograma de ejecución del plan. Cabe recordar que las iniciativas propuestas son un resumen de lo recogido desde los antecedentes, así como desde las reuniones y talleres PAC, y dado lo estrecho de los tiempos y la limitada cantidad de talleres, no hubo una validación formal de toda la cartera de iniciativas, pero sí fueron presentados para discusión en los talleres realizados.

### 7.3 Fichas resumen de las iniciativas propuestas

Las fichas resumen de las iniciativas priorizadas en el marco de este PEGH fueron completadas según el formato de la Tabla 7.6 y se incluyen en Anexo F Apéndice iniciativas.

**Tabla 7.6 Ficha resumen de iniciativa**

<b>Id</b>	
<b>Nombre iniciativa</b>	
<b>Origen</b>	
<b>Brecha-Problema identificado</b>	
<b>Eje</b>	A partir de los 4 ejes definidos para este plan: Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos; Información y monitoreo del recurso hídrico; Gestión y gobernanza del agua; y Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico.
<b>Objetivo relacionado</b>	
<b>Objetivo Iniciativa</b>	
<b>Descripción</b>	
Detalles:	
<b>Ámbito</b>	Entre los ámbitos considerados se cuentan: calidad/tratamiento de aguas, obras de desvío, construcción y/o mejoramiento de captaciones, ambiental, monitoreo, obras/mejoramiento/promoción riego, difusión de conocimiento, fortalecimiento de capacidades, gobernanza, trasvases, estudios.
<b>Ubicación</b>	

<b>Beneficiarios Directos</b>	
<b>Tipo de Acción</b>	
<b>Situación de la acción</b>	
<b>Horizonte (plazo)</b>	
<b>Costo total (miles de pesos)</b>	
<b>Tipo Financiamiento</b>	
<b>Entidad Financiera</b>	
<b>Entidad Responsable</b>	
<b>Mapa de ubicación referencial</b>	

Fuente: elaboración propia.

## 7.4 Cronograma de las iniciativas propuestas

En el esquema de la Tabla 7.7, se presenta la hoja de ruta propuesta para el PEGH de la cuenca. Es el resultado del análisis e integración de los diversos componentes trabajados, priorizados y seleccionados a través de todo el estudio. En el esquema es posible observar las cuatro tipologías, tomando además en consideración su temporalidad orientativa en el corto, mediano y largo plazo, planificación desarrollada a partir de la priorización de iniciativas expresada en la Tabla 7.7 y detallada en las secciones 3.5 y Anexo F Apéndice iniciativas.

**Tabla 7.7 Cronograma del plan de acción**

N°	Iniciativas del Plan de acción	Años										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Obras de control o manejo de la calidad de las aguas del río Azufre en la cuenca alta del Lluta			■								
2	Obras de desvío río Azufre			■								
3	Tratamiento predial de las aguas del río Colpitas			■								
4	Mejoramiento en la infraestructura hidráulica existente			■								
5	Conservación de riberas de cauces naturales XV región			■								
6	Conservación canal Llussuma, comuna de Putre			■								
7	Toma y conducción de las aguas del río Caracarani			■								
8	Instalación de estaciones fluviométricas en sector río Azufre		■									
9	Monitoreo de calidad de agua en río Azufre			■								
10	Transferencia tecnológica para riego en la subcuenca Lluta Bajo	■										
11	Diseño y apoyo comunicacional, y capacitación en herramientas de gestión territorial		■									
12	Transferencia tecnológica para riego en zona Putre Socoroma			■								
13	Diseño de una nueva gobernanza y acompañamiento técnico a todos los actores para su implementación en la cuenca		■									
14	Trasvase de agua de cuenca de río Caquena a la cuenca del río Lluta		■									
15	Apoyo en la generación y planificación de nuevos mercados, de generación y seguimiento de proyectos, e identificación de impacto en el territorio		■									
16	Modelación conceptual y numérica hidrogeoquímica de la cuenca del Lluta	■										
17	Modelamiento hidráulico embalse Chironta		■									
18	Estudio acerca de la conexión hidrogeológica entre Chile Perú			■								
19	Estudio de análisis del efecto de las azufreras en la calidad de las aguas del río Azufre.			■								

Fuente: elaboración propia.

## 7.5 Valorización del Plan

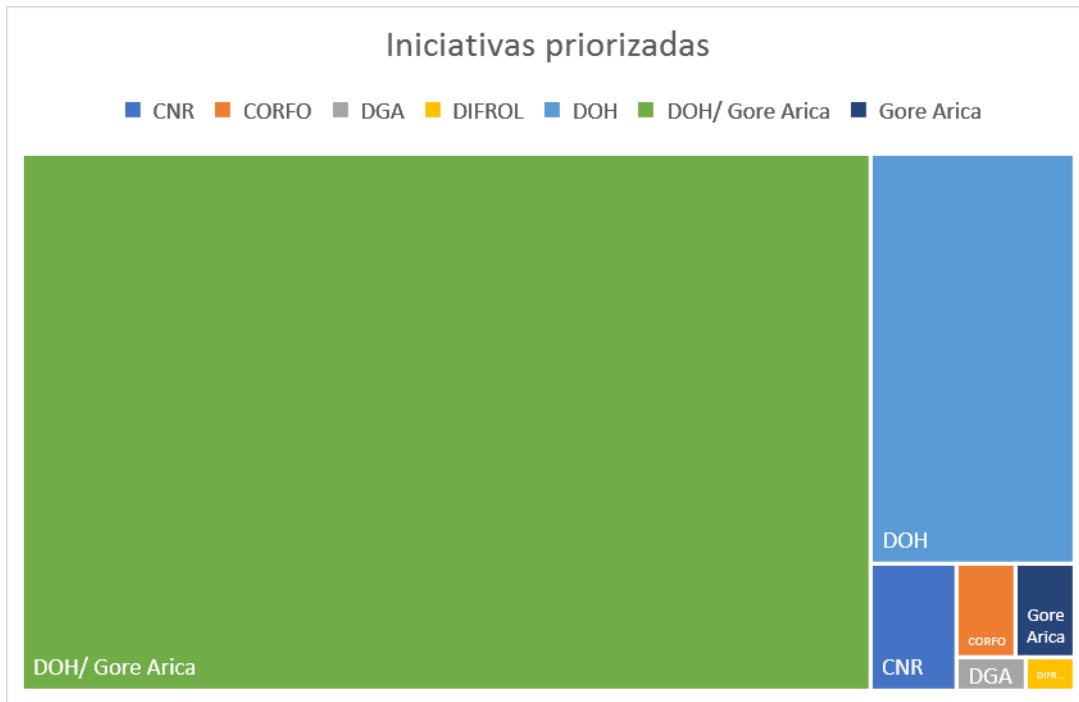
Las medidas contempladas en el presente Plan ascienden a un valor actual de costos de 35.718 millones de pesos de los cuales 750 millones corresponden a iniciativas propuestas y 34.968 millones de pesos a iniciativas previas. El financiamiento del PEGH se basa principalmente en la coordinación de las entidades públicas, reasignación de presupuesto público, y la gestión de los fondos y/o programas en forma consistente a los objetivos y medidas del Plan.

En función de los resultados de la evaluación económica, y la responsabilidad en la ejecución de las iniciativas, se resume a continuación el VAC y CAE total por institución responsable en Tabla 7.8 y Figura 7.2.

**Tabla 7.8 Distribución de costos según ejecutor: VAC y CAE (\$ Millones de Pesos) Iniciativas Propuestas.**

Instituciones	CAE (\$Millones)	VAC (\$Millones)
CNR	282,48	690,47
CORFO	225,23	350,00
DGA	145,12	145,00
DIFROL	120,10	120,00
DOH	1.914,33	5.244,80
DOH/ Gore Arica	7.737,67	28.818,13
Gore Arica	70,17	350,00
<b>Total general</b>	<b>10.495,09</b>	<b>35.718,40</b>

Fuente: elaboración propia.



**Figura 7.2 Distribución de VAC (\$ Millones de pesos) según ejecutor: Iniciativas Priorizadas.**

Fuente: elaboración propia.

Se debe destacar que esta valorización del plan incluye en principio financiamiento público, pero algunos de esos costos podrían ser cubiertos por el sector privado a partir de una forma de financiamiento mixto.

Dado lo anterior, la implementación de las iniciativas del PEGH depende principalmente de la inversión fiscal, y por ende, es clave una estrategia de financiamiento ad-doc que incluya una exhaustiva revisión de posibles fuentes de financiamiento y/o potenciales cooperaciones público-privadas a nivel de cuenca, teniendo a la vista fuentes de financiamiento regionales, nacionales e incluso internacionales.

Finalmente, hay que destacar que según lo recogido y lo propuesto por este PEGH, los organismos públicos con mayor compromiso de financiamiento en materias relacionadas con el recurso hídrico serían Gore de Arica y Parinacota y DOH.

## 8. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

En el presente capítulo se presentan las características necesarias para la correcta implementación del PEGH. Se incluye también un resumen con la identificación de las fuentes de financiación previstas.

### 8.1 Estructura del Plan de Gestión

La estructura del PEGH se ha establecido de acuerdo con 4 ejes, alineados según los objetivos del presente estudio:

- **EJE 1:** Uso estratégico del Recurso Hídrico: Brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos
- **EJE 2:** Información y Monitoreo del Recurso Hídrico
- **EJE 3:** Gestión y Gobernanza del Agua
- **EJE 4:** Conservación y Protección del Recurso y del Ecosistema Hídrico.

A su vez, en cuanto a su tipología, las iniciativas se clasifican en 4 tipos según:

- Obras de infraestructura (OI)
- Medidas de Gestión (MG)
- Nuevas Fuentes (NF)
- Otras Medidas (OM)

### 8.2 Plazos de implementación

Los plazos de implementación se muestran en la Tabla 7.7 y los detalles de las iniciativas en Anexo F Apéndice iniciativas.

### 8.3 Estrategia de Implementación

Para la lograr implementar las iniciativas del PEGH es necesario conocer los diferentes aspectos que puedan influir en la implementación de las acciones del plan, dentro de lo cual se pueden identificar aspectos institucionales, culturales, normativos, y económicos, los cuales serán expuestos a continuación.

#### 8.3.1 Aspectos institucionales

En la cuenca existen diversas instituciones que poseen influencia en materia hídrica y son condicionantes para la implementación de las iniciativas del plan. Por tanto, no tan solo hay que tener en consideración a los organismos públicos pertinentes sino también

a la interacción o instancias de coordinación donde puedan interactuar estos organismos. Entre las interacciones clave se cuentan:

- DGA-DOH-CNR
- DGA-CNR
- DGA-DOH
- DGA-SISS
- DGA-GORE
- DGA-CNR-DOH-MIDESO
- DGA-CORFO
- DGA-DIFROL
- DGA-DIFROL-MMA-SERNAGEOMIN

### 8.3.2 Aspectos de cultura del agua

De manera paralela a la implantación de las iniciativas es necesario promover una cultura del agua que abarque por completo del ciclo hidrológico, considerando el enfoque en la producción de agua por parte de los ecosistemas; un manejo que permita preservar la calidad de las aguas en las distintas fuentes naturales; y utilizar eficientemente el recurso hídrico de manera que las intervenciones que se realicen sean responsables con este ciclo.

A continuación, se presentan condicionantes y/o limitaciones de carácter cultural que pueden influir en la implementación del PEGH:

- Rechazo de las comunidades, por motivos culturales o desconfianza y desconocimiento de las atribuciones de los organismos públicos relevantes en la materia, así como desconocimiento de los procedimientos administrativos para resolución de problemas o conflictos en la cuenca
- Dificultad en la implantación de proyectos de tecnificación de riego, si es que no se entrega una adecuada formación de los usuarios, dada las arraigadas costumbres y hábitos, relacionadas con el riego tradicional de la población más envejecida de agricultores y campesinos.
- Limitaciones en comunidades de agua potable rural dada la poca predisposición y disposición para la conformación de comités y renovación cargos necesarios para la gestión de estos tipos de sistemas.
- Reticencia de actores a la implantación de recarga artificial de acuíferos dado el desconocimiento del marco normativo mediante el cual se ejecutan y efecto que pueda tener sobre sus DAA.

### 8.3.3 Aspectos de financiamiento

El financiamiento necesario para la implantación de las iniciativas definidas en el PEGH, puede ser una limitante al momento de llevarlas a cabo, esto debido que a pesar que una determinada iniciativa cuente con una aprobación técnica, ambiental, social y económica, las restricciones de financiamiento pueden frenar su implementación, a pesar de contar con todos los requisitos para ejecutarse.

Las fuentes de financiamiento del PEGH, pueden ser principalmente sectoriales o regionales. Actualmente la fuente principal de financiamiento es sectorial, debido a que buena parte de las iniciativas considera como responsables a instituciones como la DGA, DOH o CNR, como se puede ver en detalle en la Tabla 7.5 de las iniciativas propuestas y en el Anexo F Apéndice iniciativas.

Sin embargo, desde el presente PEGH se considera que la dinámica de inversión regional, definida principalmente por el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), debería evolucionar a una mayor participación y aportes de financiamiento por parte de los gobiernos regionales, considerando el fuerte impacto que tiene el recurso hídrico en sectores económicos de la región (actividades agropecuarias, sanitaria, energéticas). Este financiamiento no necesariamente debe enfocarse en la realización de estudios o ejecución de iniciativas, sino más bien, al financiamiento de la estructura técnica que permita su operación e influyendo por tanto a la gobernanza del plan en la cuenca. Desde esta consultoría se propone que el financiamiento compartido de las iniciativas sea de al menos 30% regional y 70% sectorial en su fase inicial, para llegar a un 70% regional y 30% sectorial en su último año, sujeto por supuesto a la disponibilidad de recursos de cada entidad.

### 8.3.4 Aspectos normativos

Los aspectos normativos de mayor relevancia del PEGH son aplicados de forma exclusiva por órganos del estado. Las actuales disposiciones legales y normativas vigentes pueden favorecer o limitar las iniciativas propuestas en PEGH, sin embargo, la gestión de los recursos hídricos se rige principalmente por el vigente Código de Aguas, el cual se encuentra en un proceso de revisión, y que, dada su estrecha dependencia con la Constitución, estará sujeto en gran medida a los cambios que se puedan realizar en el proceso constituyente. Esta materia escapa de los alcances del plan por lo que no se aborda dentro de sus contenidos.

Cabe destacar que actualmente, existen políticas y estrategias intersectoriales vigentes que presentan una coherencia con el Código de Aguas que rige las políticas de agua con otras áreas, como agricultura (Ley 18.450 Normas para el fomento de la inversión privada en obras de riego y drenaje), Medio ambiente (Ley 20.417 Bases generales del medio ambiente), Salud (Decreto 735 Reglamento de los servicios de agua destinados al consumo humano), planificación territorial (Decreto 458 Ley general de construcciones y urbanización), entre otros.

### 8.3.5 Rol de las mujeres

Un aspecto relevante en este tema es el rol de las mujeres, tanto en la Junta de Vigilancia del río Lluta, como en las APR de la cuenca, las que desarrollan una fuerte labor de trabajo comunitario en función del recurso hídrico para la producción agrícola y de consumo humano. Este es un aspecto que debe ser relevado en la implementación de un PEGH en esta Cuenca

### 8.3.6 Aspectos relacionados con el ciclo político

Quizá el riesgo más relevante a la hora de implementar un plan de este tipo, guarda relación con el compromiso de las autoridades de los Servicios Públicos clave, ya que son estas autoridades las que:

- Validarán y priorizarán las iniciativas de inversión asociadas al Plan
- Destinarán personal para el seguimiento del PEGH
- Apoyarán en la convocatoria a reuniones futuras
- Y tendrán un rol activo en el PEGH

Por otro lado, la discusión incipiente sobre un proyecto de ley acerca de una gobernanza del agua a nivel de cuenca, en caso de concretarse, también puede ser una oportunidad para asegurar la implementación del PEGH a futuro al constituir este trabajo una herramienta de gestión para la toma de decisiones en la cuenca.

Por último, desde el punto de vista de políticas públicas también resulta clave que los lineamientos de este PEGH sean coherentes con los lineamientos más importantes en materia de agua vigente. En la situación actual, este PEGH está alineado tanto con los desafíos y ejes de trabajo de la actual Mesa Nacional del Agua, la cual tiene por objeto proponer un plan para hacer frente a la crisis hídrica que atraviesa el país. Por otro lado, también hay concordancia con las actuales Prioridades estratégicas de la DGA, como son, Mejoras en información de los recursos hídricos y Gestión estratégica de cuencas, entre otras.

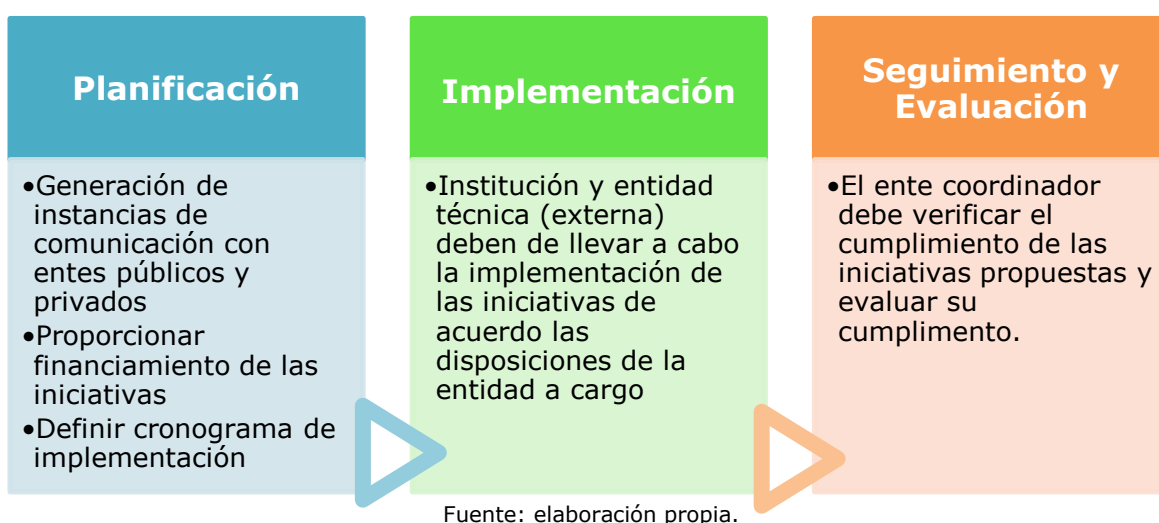
### 8.3.7 Proceso de implementación

El Plan Estratégico es parte de un proceso de mejoramiento continuo en donde, es necesario ir incorporando constantemente a nuevos actores e iniciativas que puedan ir surgiendo. Como ya se ha mencionado previamente existen factores que influyen en la implementación del PEGH, y para el éxito de su implementación es necesario considerar al menos:

- Identificación y comunicación con instituciones responsables
- Generar una buena acogida las iniciativas por parte de los beneficiarios
- Disponer de financiamiento
- Identificar externalidades positivas y negativas de cada medida. En este caso, entre las externalidades positivas se cuentan la solución de problemas de APR, un mayor caudal ecológico y la recarga de acuíferos.

Debido a que los PEGH han sido impulsados por DGA, se considera que sea esta entidad la responsable de estar a cargo de esta herramienta a partir de la coordinación y articulación desde la Dirección Regional de Aguas. Esto, debido a que se considera a ésta como una entidad conocedora de la realidad territorial de una forma más próxima (que por ejemplo la DGA Nivel Central) y que mantiene vínculos con los actores relevantes de la cuenca, tanto a nivel público (DOH, CNR, Gobernación, Municipios, entre otros) así como actores propios del territorio (OUA, Comunidades indígenas, entre otros).

En la Figura 8.1 se presenta un esquema básico de los pasos propuestos a seguir en la implementación de las iniciativas del PEGH.



**Figura 8.1 Esquema de la ejecución de iniciativas del PEGH.**

## 8.4 Gobernanza del Plan Estratégico

De acuerdo al informe de la Mesa de Agua, del Comité Científico COP25 Chile (2019), se comprende por gobernanza del agua como el proceso a través del cual se deben adoptar las decisiones sobre la protección y gestión de un bien que tiene valor ambiental, social y económico, resguardando en todo el proceso que las decisiones sean tomadas de manera informada, coordinada y participativa entre los actores relevantes, y de este modo, asegurar que las generaciones presentes y futuras puedan acceder al disfrute de todos los servicios ecosistémicos asociados al agua. Es decir, la gobernanza se orienta a responder las interrogantes: ¿quiénes toman las decisiones?, ¿cómo?, ¿sobre qué?, y ¿quién asegura el cumplimiento de los objetivos buscados?

En este marco, se plantea que el objetivo central de la gobernanza debe ser lograr la seguridad hídrica en el país, existiendo consenso en la necesidad de integrar criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones ante el cambio climático, con el fin de ayudar a

reducir y/o mitigar la incertidumbre que genera este. Al respecto, la Mesa del Agua ha considerado cinco aspectos o enfoques relevantes en materia de gobernanza, a saber:

1. **Gobernanza resiliente y ambientalizada:** dados los cambios observados y proyectados en las precipitaciones, se requiere una gobernanza (derecho y gestión) resiliente y ambientalizada, es decir, proteger el agua.
2. **Cambios al régimen legal de acceso al agua, usos prioritarios y medio ambiente:** toda vez que la realidad hídrica y climática es muy diferente a la pasada, se requieren cambios para lograr sostenibilidad y equidad social.
3. **Gestión integrada de cuencas y participación:** se debe avanzar hacia la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca, en la que el agua es un valor ambiental, social y productivo, que incluya la gestión integrada del agua (superficial y subterránea) y entre ella y los usos del territorio. Gestión integrada que debe ser hecha por el Estado y todos los interesados, que incluye a los ecosistemas y las generaciones futuras, incentivando la constitución de OUA.
4. **Autoridad de jerarquía superior:** se hace necesario contar con una autoridad política de jerarquía superior y que sea capaz de coordinar las múltiples instituciones con competencia en agua en Chile, recomendando crear una comisión nacional, altamente representativa de las instituciones y sectores públicos y privados interesados en el agua, la ciencia y la sociedad civil.
5. **Disminuir brechas en información y fortalecer la interfaz ciencia-política:** se debe generar mayor articulación y colaboración para la generación y difusión de la información que permita tomar decisiones.

Por su parte, el Plan Estratégico para la gestión de la cuenca es parte de un proceso de mejoramiento continuo, definido en tres etapas: Formulación, Implementación, y Seguimiento y Evaluación, ver Figura 8.1, en las cuales se propone integrar la dimensión de la gobernanza para su desarrollo.

De esta forma, en la etapa de formulación del plan se requiere la creación de una instancia que permita la participación de los distintos actores relacionados con la gestión de los recursos hídricos, usuarios directos e indirectos, considerando las problemáticas de desplazamiento y comunicación de algunos sectores de la cuenca, la diversidad de territorios y diversidad de actores vinculadas a ésta, que denominaremos Mesa del PEGH. En este sentido, la Mesa del PEGH podría evolucionar en su rol, adquiriendo una orgánica que le permita conducir en el tiempo los procesos estratégicos del plan, en este caso, su formulación y actualización. Además, podría ser la instancia que dirima los vacíos o superposiciones que existen entre las funciones de los distintos servicios públicos y actores presentes en el territorio. Sin embargo, esta posibilidad requiere que las decisiones de la mesa sean vinculantes, al menos en alguna medida, por lo que se debe avanzar hacia niveles deliberativos en la gobernanza del agua, teniendo en cuenta los límites y reglamentación vigente para ello.

Para la implementación del PEGH se requiere atender a diversos factores que incidirán o afectarán su buen desarrollo, tales como la precisión de las responsabilidades institucionales, el interés y confianza de los actores involucrados en el plan, los recursos

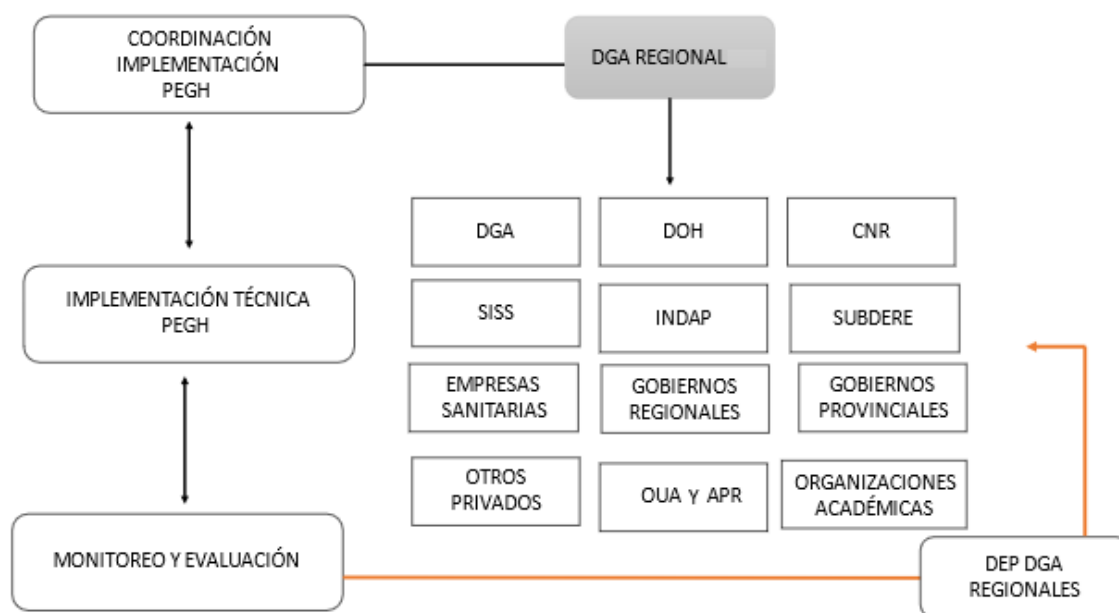
financieros disponibles, y los imponderables u otras externalidades positivas o negativas particulares de la o las iniciativas del plan.

Asimismo, la etapa de implementación del plan requiere contar con una instancia de coordinación, ausente actualmente en la cuenca, y que facilite el trabajo conjunto de las distintas entidades responsables de llevar a cabo las iniciativas ya identificadas. También, se hace necesaria dicha instancia de coordinación para las etapas de seguimiento y evaluación, que se haga cargo de llevar un registro permanente de los indicadores, y facilite las revisiones periódicas del Plan Estratégico formulado, permitiendo su actualización.

En particular, en la cuenca, los actores clave en la gobernanza de la misma son sin duda las organizaciones públicas vinculadas directamente a la gestión del recurso hídrico, las OUA y APR del territorio, así como los actores vinculados al Agua Potable Urbana, que si bien presentan diversos grados de organización y desarrollo, son entidades de relevancia que se enlazan con la acción de las instituciones públicas. De este modo, no es posible una buena gestión del recurso sin el fomento de las relaciones entre organismos públicos y privados en este tema.

Considerando los diversos grados de organización y desarrollo de las distintas secciones de la cuenca, se requiere generar acciones para el fortalecimiento organizacional en el sector más bajo de esta, pues los niveles de acceso a tecnología y/o capacidades técnico-profesionales distan bastante de las ubicadas arriba de la cuenca.

En la Figura 8.2, se propone un modelo de gobernanza, consistente en una mesa técnica coordinada por DGA y Mesa del PEGH, cuyos miembros son los distintos grupos de actores que fueron mapeados y analizados en el estudio.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 8.2 Esquema de Gobernanza para el PEGH.**

#### 8.4.1 Cultura del agua

La Unesco (2005) ha definido la cultura de agua como aquel conjunto de modos, estrategias y medios utilizados para la satisfacción de necesidades fundamentales relacionadas con el agua y con todo lo que depende de ella, incluyendo lo que se hace con el agua, en el agua y por el agua, lo que se manifiesta en la lengua, en las creencias (cosmovisión, conocimientos), en los valores; en las normas y formas organizativas; en las prácticas tecnológicas y en la elaboración de objetos materiales; en las creaciones simbólicas (artísticas y no artísticas); en las relaciones de los seres humanos entre sí y de estos con la naturaleza, y en la forma de resolver los conflictos generados por el agua.

De este modo, la cultura del agua se constituye en un aspecto específico de la cultura de un colectivo que comparte, entre otras cosas, una serie de creencias, de valores y de prácticas relacionadas con el agua, así como también conflictos y problemáticas respecto al recurso, así como a los distintos intereses que expresan los diversos actores que se ven involucrados. Por ello, la gobernanza debe ser planteada reconociendo las particulares o específicas formas culturales de aproximación a una misma temática, en este caso, respecto al recurso hídrico en los territorios que despliegan el desarrollo de la vida.

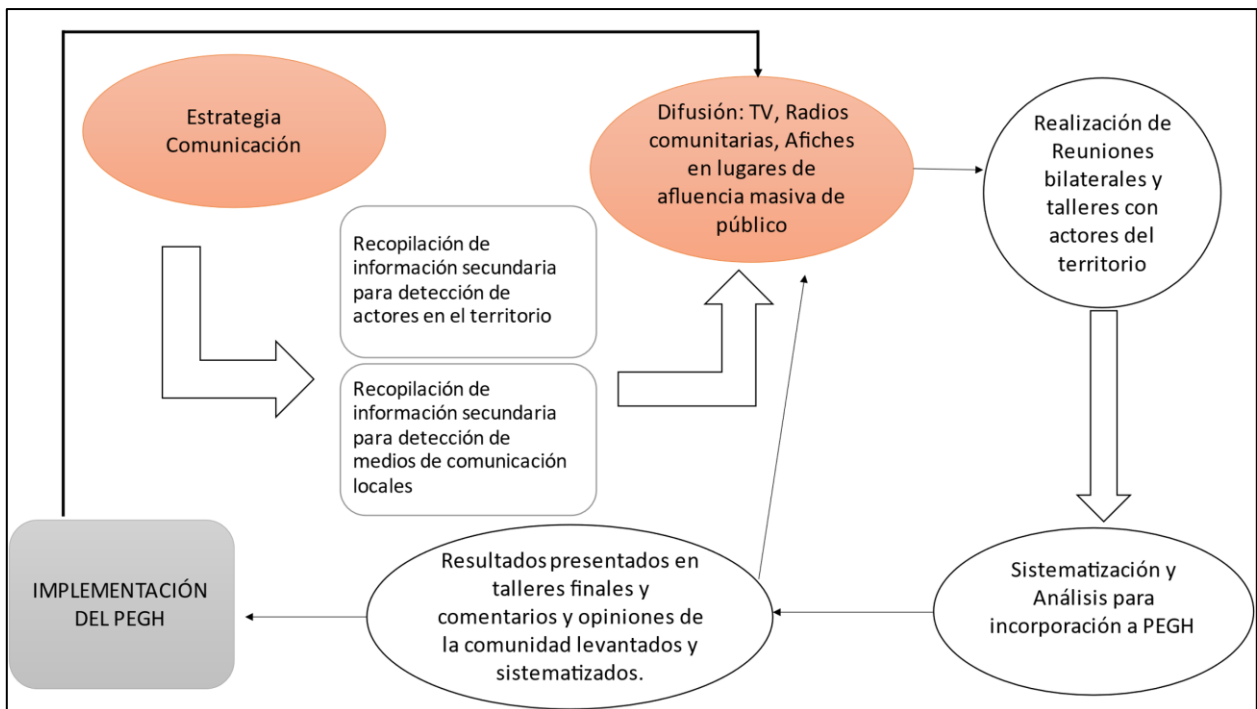
En consecuencia, en forma paralela a la gobernanza, se debe promover una cultura del agua que comprenda al ciclo hidrológico en su totalidad, con un ordenamiento territorial que favorezca la producción de agua por parte de los ecosistemas, un manejo productivo

que permita conservar la calidad de las aguas en las distintas fuentes naturales, y un uso eficiente que permita una intervención responsable de este ciclo, teniendo como objetivo integrar a la diversidad de actores que participan en la cuenca, así como la diversidad cultural asociada a ella.

## 8.5 Estrategia de comunicación

La estrategia comunicacional del PEGH considerará a los actores que participaron de este proceso, en vista de que se vinculan con la necesidad de implementar una estrategia de Gobernanza pertinente a la Cuenca.

Para establecer esta estrategia, se presentan las actividades llevadas a cabo durante la consultoría, seguido de las propuestas futuras. El resumen las actividades de comunicación y difusión durante el proyecto en la Figura 8.3.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 8.3 Estrategia comunicacional PEGH**

### 8.5.1 Comunicación y difusión durante el desarrollo del estudio

Los mecanismos de participación ciudadana utilizados en el estudio se detallan en la sección 3.4 del Anexo F, Anexo I y correspondieron a:

- Recopilación de antecedentes desde fuentes de información secundaria sobre actividades de participación realizadas anteriormente.
- Proceso de información y consulta a través de reuniones con actores relevantes en la forma de decisiones sobre el recurso hídrico en la cuenca

- Seminario de cierre, enfocado en la presentación del Plan y el modelo hidrológico a los actores relevantes, extensivo a aquellos que considere oportuno la Inspección Fiscal y/o el encargado de participación ciudadana MOP.

Desde el inicio del proyecto se ha considerado generar instancias de difusión para la comunidad de todo el proceso que se ha implementado en la cuenca. Desde ese punto de vista se han cumplido los objetivos de:

- Levantar información de fuentes secundarias, las que fueron contrastadas en el proceso de PAC, lo que llevó a generar información que fue trabajada por la comunidad.
- Elaborar y distribuir trípticos a los actores de la Cuenca, a modo informativo.
- Retroalimentar a los actores con la información levantada en los talleres, especialmente en el taller 2, para obtener una visión pertinente a las necesidades de los actores de la cuenca.
- Generar un tríptico final con los principales resultados del proceso, a distribuir entre los actores.

Un punto relevante es la necesidad de generar un proceso de gobernanza que permita la implementación del PEGH de la zona, en que se requiere mantener el proceso informativo desarrollado en el proceso PAC.

Lamentablemente, las condiciones de la pandemia imposibilitaron llegar a más actores o a un territorio más amplio, con lo que la necesidad de mantener y profundizar este proceso informativo es central y absolutamente necesario.

### **8.5.2 Comunicación y difusión del PEGH en fases posteriores**

A continuación, se presenta una propuesta de estrategia comunicacional a considerar para la adecuada implementación del PEGH en la cuenca. La estrategia está conformada por tres objetivos:

- Difundir el alcance y los contenidos del PEGH propuesto.
- Informar a los actores relevantes y otros actores del territorio acerca de los avances en la implementación del PEGH.
- Corroborar la aceptación de las iniciativas del PEGH por parte de los potenciales beneficiarios directos.

En cuanto al primer objetivo, debe existir una difusión permanente acerca del PEGH, tanto de la información y diagnóstico generada, así como de las brechas, sus soluciones y las iniciativas identificadas, sin perder de vista que el PEGH debe ser una iniciativa “viva” y dinámica que dé cuenta de la visión de los actores. Este plan debe ser una herramienta “de” los actores de la cuenca quienes pueden levantar o priorizar problemáticas, así como realizar gestiones de financiamiento tanto con privados como con organismos públicos para avanzar con las iniciativas que a su juicio tengan mayor valor para la cuenca.

Con respecto al segundo objetivo, y dado que el público general es amplio, se sugiere que la DGA genere un correo electrónico institucional de contacto para que el público en general pueda hacer seguimiento, consultas o aportes, con el objetivo de transparentar el avance de las iniciativas del Plan. Así mismo, se recomienda la identificación de una persona referencial del servicio a nivel local (DGA regional) con conocimiento íntegro del PEGH que pueda resolver dudas o consultas de terceros sobre el avance de implementación de las medidas. Además de lo anterior, se recomienda el uso de medios de difusión a través de las actuales plataformas de la DGA (web, redes sociales).

En relación al tercer objetivo, el público objetivo variará en función de la acción del PEGH. Para este caso, previamente a la asignación de financiamiento correspondiente para la implementación de acciones, se sugiere establecer reuniones de trabajo al menos con los actores identificados como beneficiarios directos, con el objetivo de presentar los detalles técnicos (y sociales y económicos si corresponde) de la iniciativa. En el caso que la acción implique otras instituciones públicas, o bien diferentes unidades o departamentos de la DGA, será preciso la coordinación de las reuniones pertinentes para aunar lineamientos interinstitucionales.

## 8.6 Externalidades

El análisis de externalidades del PEGH requerirá un análisis periódico de posibles externalidades, especialmente los que impliquen obras.

Sin duda las medidas propuestas relacionadas con tratamiento van de la mano de externalidades positivas por la oportunidad que generan a las personas; pero, por otro lado, una posible externalidad negativa puede considerarse el descarte de sal. Así mismo, mejorar la calidad de agua abre la puerta a nuevos desarrollos productivos, emprendimientos o de subsistencia en la zona.

Entre las externalidades positivas se cuentan la solución de problemas de APR, un mayor caudal ecológico y la recarga de acuíferos.

La fiscalización de extracciones ilegales y otras infracciones al Código de Aguas, podría generar la externalidad positiva de desincentivar el comportamiento "ilegal" por el agua ante una presencia más visible.

La mayor disponibilidad de agua en zonas rurales puede tener como externalidad positiva un repoblamiento de esos sectores.

## 9. MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

En este capítulo se detalla el Plan de Monitoreo del PEGH de Lluta, así como los mecanismos para análisis y toma de decisiones asociados, con el objetivo de evaluar la eficacia de la implementación del PEGH, estableciendo para ello indicadores que permitan seguir el grado de cumplimiento de las iniciativas y de los objetivos definidos para el PEGH.

### 9.1 Plan de Monitoreo

El Plan de Monitoreo del PEGH busca establecer el grado de cumplimiento en el tiempo de las iniciativas del PEGH, y así, evaluar el grado de avance para alcanzar los objetivos formulados por el plan a través de un modelo de seguimiento. Este programa de Monitoreo se basa en experiencias anteriores en materia de planes hídricos de cuenca.

La cartera de acciones del PEGH considera iniciativas vigentes e iniciativas nuevas. El Plan de Monitoreo se centrará como índice de cumplimiento, tanto las iniciativas propuestas como de otros planes; si bien estas últimas poseen sus propios tiempos de implementación establecidos y el plan de monitoreo no tiene injerencia directa sobre ellas, se considera importante, dada la coherencia que debe tener del plan en su totalidad, al aplicar el Monitoreo correspondiente.

La Tabla 9.1 muestra el número y porcentaje de iniciativas vigentes y propuestas para el PEGH según el plazo de implementación considerado.

**Tabla 9.1 Cantidad de iniciativas del PEGH según plazo de implementación**

N° iniciativas vigentes	Porcentaje de iniciativas vigentes (%)	N° iniciativas propuestas	Porcentaje de iniciativas propuestas (%)	Plazo de implementación
6	37,5	1	33,3	Corto plazo
6	37,5	2	66,6	Mediano plazo
4	25	0	0	Largo plazo

Fuente: elaboración propia.

El PEGH centrará sus esfuerzos en dar seguimiento anualmente a los indicadores establecidos para los primeros 5 años. Para el periodo posterior (mediano y largo plazo) el Plan de monitoreo deberá ser evaluado, actualizado y rediseñado.

Entre los indicadores propuestos, se cuentan:

**Indicadores Generales.** Cuantifican el grado de avance del plan a nivel global, considerando la relación existente entre iniciativas comenzadas y/o finalizadas versus la programación planificada según la carta Gantt. Considera 4 indicadores:

- *Porcentaje de iniciativas comenzadas (PIC)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas comenzadas en el año *i* y el número de iniciativas planificadas en el año *i*.
- *Porcentaje de iniciativas comenzadas acumulada (PICa)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas comenzadas hasta año *i* y el número de iniciativas planificadas hasta el año *i*.
- *Porcentaje de iniciativas finalizadas (PIF)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas finalizadas en el año *i* y el número de iniciativas planificadas en el año *i*.
- *Porcentaje de iniciativas finalizadas acumulada (PIFa)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas finalizadas hasta año *i* y el número de iniciativas planificadas hasta el año *i*.

**Indicadores Específicos.** Dan cuenta del porcentaje de avance de la implementación de las iniciativas clave del PEGH.

- *Porcentaje de avance iniciativa*. El porcentaje de cualquier iniciativa analizada se calcula como el cociente entre el avance real y lo planificado. Este cálculo se obtiene a partir de la carta Gantt específica de la iniciativa, cronograma que debe confeccionarse al momento de comenzar el proyecto en particular. Adicionalmente este indicador tiene definido un tiempo máximo para su implementación.

**Indicadores de metas.** Este indicador busca analizar el porcentaje de avance de los objetivos y acciones propuestas en este PEGH.

- *Porcentaje de avance de objetivos (PO)*: El porcentaje de avance de los objetivos del plan se calcula como la ponderación del porcentaje de avance de las iniciativas (Indicador Específico) vinculadas al objetivo (ver Tabla 7.4).
- *Porcentaje de avance de acciones (PA)*. El porcentaje de avance de las acciones del plan se calcula como la ponderación del porcentaje de avance de las iniciativas (Indicador Específico) vinculadas a la acción (ver Tabla 7.4).

**Parámetro de referencia.** Para los indicadores generales representa el número de iniciativas totales por año que deben ser comenzadas o finalizadas para dar cumplimiento en un 100% a la planificación del PEGH. Para los indicadores específicos representa el tiempo al cual la iniciativa debe estar 100% implementada. Este parámetro es sólo referencial y ayudan a la determinación de los umbrales del Plan de Monitoreo.

**Umbrales.** Los umbrales corresponden a los valores de avance mínimos aceptados para cada tipo de indicador presentados en la Tabla 9.2.

**Frecuencia de revisión:** El plan de monitoreo considera el seguimiento de la implementación de las iniciativas durante los primeros cuatro años (2022-2025), a través de los indicadores descritos anteriormente. Y se contempla una evaluación y rediseño del plan en su conjunto durante el quinto año, donde una de las variables a evaluar y rediseñar es el PEGH.

**Plan de Acción.** Si la evaluación realizada a través del Plan de monitoreo indica que no se ha cumplido con los umbrales definidos, es decir, existen desviaciones importantes respecto de lo planificado, se ejecutará un plan de acción, que tiene por objetivo replanificar el PEGH de modo de cumplir con los objetivos propuestos en los tiempos propuestos.

El Plan de Monitoreo del PEGH se muestra en la Tabla 9.2, detallando los indicadores generales y específicos, los parámetros de referencia en cada caso y el umbral establecido por indicador de seguimiento.

**Tabla 9.2 Plan de Monitoreo de PEGH**

Tipo de indicador	Indicador de seguimiento	Umbral
General	PIC N° de iniciativas comenzadas/N° iniciativas planificadas al año	Umbral PIC 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+4
	PICa N° de iniciativas comenzadas acumuladas/N° iniciativas acumuladas planificadas al año	Umbral PICa 1) 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+3 (valor acumulado) 2) 100% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)
	PIF N° de iniciativas finalizadas/N° iniciativas planificadas al año	Umbral PIF 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar al año i hasta i+4
	PIFa N° de iniciativas finalizadas acumuladas/N° iniciativas finalizadas acumuladas planificadas al año	Umbral PIFa 1) 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar su implementación el año i hasta i+3 (valor acumulado) 2) 100% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)
Específico	Porcentaje de avance de cada iniciativa	Soluciones definitivas para APR ( 0%)
Metas	PO Porcentaje de avance de las iniciativas vinculadas al objetivo/ N° de iniciativas vinculadas al objetivo	Umbral PO 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+4 (valor acumulado)
	PA Porcentaje de avance de las iniciativas vinculadas la acción/ N° de iniciativas vinculadas la acción	Umbral PA 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)

Fuente: elaboración propia.

Según lo indicado anteriormente, el Plan de Monitoreo, en caso de incumplimiento de los indicadores requerirá un plan de acción, dependiendo del periodo de tiempo considerado:

- **Para los primeros 4 años (año i hasta i+4):** El objetivo del Plan de Acción sería reprogramar o replanificar las iniciativas atrasadas para el año siguiente al originalmente programado. Sí el valor de los indicadores PIC y/o PIF es menor al valor del umbral definido, entonces el PS activa el plan de acción, el cual

determina el número total de iniciativas que deben reprogramarse para el año siguiente. Su valor corresponderá al número de iniciativas mínimas programadas para un determinado año (PIC, 80% anual) más las iniciativas retrasadas acumuladas. Como criterio de priorización de las iniciativas a reprogramar se deben analizar los Indicadores de Metas (PO y PA) identificando qué objetivos y acciones están debajo del umbral, para considerarlas preferentemente en la reprogramación del plan

- **Año 5 (año i+5):** El objetivo del Plan de Acción en este periodo es analizar si el PEGH ha cumplido en un 100% con su planificación. En caso que no se haya cumplido con la planificación, el PS entregará el número de iniciativas que no fueron ejecutadas, información que será una variable de entrada en la evaluación, actualización y rediseño del PEGH, a través de los mecanismos para el análisis, toma de decisiones y rediseño del plan de acción.

## 9.2 Mecanismos de evaluación, actualización y toma de decisiones

La planificación tiene una componente dinámica, más aun considerando iniciativas relativas a los recursos hídricos, los cuales van de la mano con la evolución del contexto climático, incidiendo sobre la oferta hídrica en la cuenca, y los cambios inherentes en la demanda de agua del territorio, así como las relaciones entre los actores (fortalecimiento, conflictos), y finalmente, en un contexto político donde la propiedad sobre el agua y el rol de las comunidades en la cuenca podría tornarse en un tema conflictivo. Lo anterior hace necesario que el PEGH sea evaluado para determinar si el diseño original sigue vigente al cabo de su primer ciclo de 5 años, así como en ciclos consecutivos del mismo periodo.

En el presente mecanismo de análisis y toma de decisiones se expone, la metodología a considerar, y luego cómo debe ejecutarse la etapa de reformulación del PEGH.

En relación al análisis del PEGH para su reformulación, se recomienda considerar los siguientes aspectos:

1. Actualización del diagnóstico en la cuenca en materia de recursos hídricos, con especial atención a las brechas entre oferta y demanda, el estado de la infraestructura, la situación de gobernanza en el territorio y el estado ambiental de los cuerpos de agua de la cuenca, solución de brechas de información identificadas en el desarrollo del PEGH. Considera recopilar, revisar y analizar los nuevos antecedentes generados durante los 5 años de implementación del PEGH.
2. Actualización de las problemáticas, brechas y cartera actual de acciones generadas en la cuenca a nivel público como privado.
3. Actualización del modelo hidrológico superficial-subterráneo con la nueva data disponible, resolviendo brechas de modelización que hubieron quedado no resueltas durante el diseño del PEGH original.
4. Evaluación de nuevos escenarios de gestión a través de la herramienta de modelación disponible
5. Evaluación de las condiciones habilitantes de las iniciativas no ejecutadas.

6. Evaluación del resultado del Plan de Monitoreo el año i+4, mediante la cuantificación de las iniciativas no comenzadas/finalizadas del PEGH.

En base a lo anterior, la DGA deberá definir cómo abordar la reformulación del PEGH, ya sea a través de medios propios o con apoyo externo al servicio, estableciendo:

- Revisión y/o actualización de los ejes y objetivos específicos del PEGH.
- Revisión y/o actualización de las iniciativas ya iniciadas, e incorporación de nuevas acciones, a corto/mediano/largo plazo.
- Si corresponde, actualización del Plan de Monitoreo asociado al PEGH.

## 10. ASPECTOS NORMATIVOS

Los aspectos normativos relevantes del PEGH son los mismos que aplican para PEGHs de otras cuencas, y guardan relación con las disposiciones existentes en las leyes y normativa vigente que pueden tanto facilitar y favorecer ciertas iniciativas como limitar y/o impedir otras. Actualmente, existen políticas y estrategias intersectoriales que promueven la coherencia entre políticas de agua ("Código de Aguas") y áreas clave como, por ejemplo, medio ambiente (Ley 19.300 Bases Generales del Medio Ambiente), salud (Decreto 735 Reglamento de los Servicios de Agua Destinados al Consumo Humano), agricultura (Ley 18.450 Normas Para el Fomento de la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje), planificación territorial (Decreto 458 Ley General de Construcciones y Urbanización), entre otros. A continuación, se identifican algunas condicionantes normativas para la implementación de ciertas iniciativas:

- a. Infraestructura hidráulica para el almacenamiento y/o desvío de caudales en cauces naturales. Para este tipo de acción es necesario coordinar la aprobación de dichos proyectos con las entidades competentes en temas relativos a impacto ambiental e intervención de fuentes de agua natural (DGA, SEA, entre otros). En general requieren ceñirse a las normas de Código de Aguas y a la normativa ambiental, requiriendo de autorización de la DGA y de una RCA.
- b. Mejora de infraestructura hidráulica de conducción. En general no requieren autorización de organismos públicos mientras se ejecute dentro de los marcos normativos establecidos en el Código de Aguas.
- c. Mejora de la eficiencia de riego a nivel predial, y a pequeña escala. En general no requieren autorización de organismos públicos mientras se ejecute dentro de los marcos normativos establecidos en el Código de Aguas.
- d. Sistemas de tratamiento de aguas residuales en localidades rurales concentradas o semi-concentradas. Debe someterse a la normativa ambiental sobre la descarga de riles a distintos cuerpos de agua (redes, aguas superficiales, lagos, acuífero, océano) y obtener los permisos sanitarios de MINSAL, de la SISS y del SAG, según corresponda. Según las características del proyecto pudiera necesitar someterse al sistema de EIA, y preparar una DIA o un EIA. Además, dependiendo del caso, debe requerir la aprobación municipal para el cumplimiento de la LGUC. Su aplicación en el caso de los sistemas de agua potable y saneamiento urbanos deberá someterse al marco regulatorio de las empresas sanitarias.
- e. Recarga artificial de acuíferos. Requiere cumplir la normativa asociada al Código de Aguas, en lo relativo a la recarga de acuíferos, a la titularidad de los derechos de aprovechamiento utilizados y, eventualmente, a la construcción de obras de infraestructura hidráulica. Además, se deberá cumplir la normativa sobre la calidad del agua, aplicable a los vertidos a las aguas subterráneas.
- f. Desalación. Necesita autorización según la normativa aplicable al uso del borde costero, la relativa a vertidos al océano, y la correspondiente a la LGUC. Dependiendo del tamaño de la iniciativa, requiere de la aprobación en el SEIA. Además, el producto debe cumplir la normativa sanitaria respectiva, según su uso.

- g. Reúso de aguas residuales urbanas o de comunidades rurales. No existen normativas específicas para el reúso de aguas servidas tratadas y sus implicancias sanitarias. Eventualmente, deben someterse a la normativa ambiental sobre la descarga a distintos cuerpos de agua (aguas superficiales, lagos, acuífero) y obtener los permisos sanitarios de MINSAL, de la SISS y del SAG, según corresponda. Además, dependiendo del caso, debe requerir la aprobación municipal para el cumplimiento de la LGUC.
- h. Manejo y restauración de cauces. Son actividades que involucran numerosos organismos del sector público y un complejo marco regulatorio. Así, dependiendo del proyecto específico involucran regulaciones y permisos relacionados con la administración de los bienes nacionales de uso público y el ordenamiento del territorio (Municipios, M. BBNN, Minvu), con la legislación de aguas y el control de inundaciones (DGA, DOH), y con la conservación y protección ambiental (MMA).
- i. Protección directa de glaciares. En la actualidad, dependiendo del caso, pudiera requerir una autorización en el marco del SEIA. Está en el Congreso un proyecto de Ley relativo a la protección de glaciares.
- j. Iniciativas para restauración ambiental en espacios privados o bienes nacionales. Se trata de iniciativas que pudieran requerir de autorización ambiental a través del SEIA o formar parte de una RCA, en especial si corresponden a áreas con algún tipo de protección ambiental. Asimismo, pueden integrar planes de abandono. En el país, no hay una legislación relativa a recuperación de pasivos ambientales.